

TRAITÉ GÉNÉRAL  
D'ÉCLAIRAGE

PARIS. — IMPRIMERIE E. BERNARD ET C<sup>ie</sup>  
23, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 23

TRAITÉ GÉNÉRAL  
D'ÉCLAIRAGE

HUILE, PÉTROLE, GAZ,  
ELECTRICITÉ

PAR

L. GALINE

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,



PARIS

E. BERNARD et C<sup>ie</sup>, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

*53<sup>ter</sup>, Quai des Grands-Augustins, 53<sup>ter</sup>*

1894



# TRAITÉ GÉNÉRAL D'ÉCLAIRAGE

---

## PREMIÈRE PARTIE

---

### HUILE

---

#### I. — Lampes à alimentation automatique.

**Lampes anciennes. — Bec Argand.** — Dès la plus haute antiquité, les peuples du bassin de la Méditerranée se sont servi pour l'éclairage de leurs habitations de l'huile d'olive récoltée en abondance. Les appareils employés étaient très rudimentaires : un vase ordinaire muni sur le côté d'un bec destiné à recevoir une mèche à brins parallèles. Cette mèche plongeait dans le liquide, et l'extrémité enflammée donnait une lumière rouge et fumeuse. La flamme se trouvant à peu près au niveau du liquide, l'ascension de l'huile se faisait par capillarité. Du côté opposé au bec, le réservoir était muni d'une anse pour permettre la manipulation de l'appareil. Toute l'attention se portait alors sur la construction du réservoir, le plus souvent en argile ou en bronze et quelques-uns mêmes atteignaient une très grande valeur.

La lampe antique passe d'un siècle à l'autre sans grand progrès ; c'est à peine si la mèche à brins parallèles est remplacée par une mèche tissée, qui se place alors dans un tube à section rectangulaire constituant le bec ; parfois sur le côté un pignon denté permet de la monter ou de la descendre : c'est la lampe à bec plat actuelle.

Vers le milieu du siècle dernier, apparaît le *réverbère*, ainsi nommé parce qu'un miroir poli en métal réfléchit le jet de flamme. Cet appareil se distingue en outre du précédent par la forme recourbée du bec, qui favorise l'accès de l'air. On était arrivé à placer jusqu'à six de ces brûleurs autour d'un même réservoir. L'appareil tout entier était enfermé dans une lanterne placée au milieu de la rue.

Voilà en résumé tout ce qui avait été fait pour l'éclairage public ou privé pendant cette longue période ; c'est-à-dire rien ou presque rien.

On rencontre encore de nos jours des lampes à bec plat, mais leur usage se restreint aux éclairages portatifs de faible intensité. En modifiant la forme du réservoir, que l'on place au-dessus du bec, on est arrivé à une lampe encore très usitée pour l'éclairage des omnibus et des voitures de chemins de fer.

La flamme de ces lampes est toujours rougeâtre et fuligineuse. Ce défaut capital est dû à une combustion incomplète. Par suite d'un manque d'air, les gaz provenant de l'huile vaporisée ne sont point brûlés, et s'échappent à l'état de fumée.

Ami Argand, horloger de Lyon, est le premier qui ait résolu le problème de la combustion complète en imaginant le bec à *double courant* d'air (1780). Dans cet appareil, l'air afflue non seulement autour de la flamme, mais encore au milieu. Il est formé par deux cylindres concentriques assez rapprochés, dans l'intervalle se place une mèche ronde tissée. Au début, cette mèche était mue à l'aide d'une tige deux fois recourbée, dont l'une des branches glissait dans un conduit ménagé le long du cylindre extérieur. L'arrivée de l'huile dans l'espace annulaire se faisait par un canal horizontal (fig. 1).

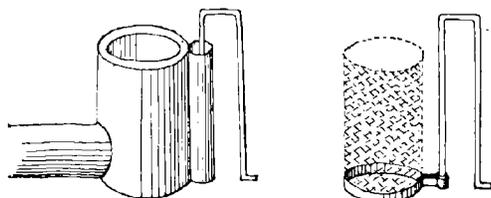


Fig. 1. — Bec Argand, ou à double courant d'air.

Une cheminée en tôle placée un peu au-dessus de la flamme lui donnait de la fixité tout en activant le tirage. Il suffit pour montrer le rôle important du courant d'air intérieur, de le fermer avec le doigt pour voir immédiatement la flamme perdre de sa clarté et se mettre à fumer.

La découverte d'Argand est la première innovation sérieuse dans l'art de l'éclairage, elle marque en outre le point de départ des nombreuses découvertes qui ont été faites depuis.

Argand appliqua d'abord son invention à l'éclairage de sa distillerie de Montpellier (1780). Puis il vint à Paris, où il fut mis en relation avec l'horloger Quinquet, Meunier, de l'Académie des Sciences et Lange. Chacun d'eux devait apporter quelque modification à la découverte d'Argand.

**Lampes à réservoir latéral.** — Dans les premières lampes, l'huile était fournie au bec par un réservoir latéral, qui laissait arriver le liquide toujours au même niveau, d'où le nom de lampes à niveau constant donné à ces appareils. Le physicien Proust en avait déjà fait l'application aux lampes à bec plat. Le principe est le même que celui des fontaines intermittentes. Cette lampe comporte deux vases communicants de dimensions différentes ; dans le grand vase se trouve renversé un récipient contenant de l'huile maintenue en équilibre au-dessus du niveau extérieur par la pression atmosphérique (fig. 2). La petite branche de ces vases communicants reçoit la mèche où l'huile s'élève par capillarité. Au fur et à mesure de la combustion, le niveau baisse dans les deux branches jusqu'au moment où l'orifice du vase renversé est mis à découvert. L'air pénètre alors dans ce réservoir et fait couler une nouvelle quantité de liquide dans les deux vases. Il en résulte que l'alimentation se fait suivant les besoins de la consommation. Le vase renversé ou *bouteille d'alimentation* est muni d'une soupape qui en ferme l'orifice quand on le retire, et empêche ainsi l'huile de s'échapper :

Lorsque la bouteille est en place, la queue de la soupape bute contre le fond de la grande branche laissant ainsi l'orifice à découvert.

Dans l'appareil tel qu'il était construit, la bouteille et la grande branche présentaient une paroi verticale qui permettait de le fixer contre un mur. La petite branche était remplacée par un bec Argand muni à sa partie inférieure d'un godet destiné à recueillir les trop-pleins du liquide. A la cheminée en tôle primitive, Quinquet avait substitué une cheminée en verre entourant complètement la flamme. Elle était cylindrique, ce n'est que plus tard que Lange imagina de la couder de façon à bien diriger l'air sur la flamme et activer encore la combustion (fig. 3).

Le 27 avril 1784, les lampes à double courant d'air firent leur début à la Comédie Française, où elles apparurent pour la première fois aux yeux du public.

Pendant une absence d'Argand, parti en Angleterre pour prendre un brevet, Quinquet et Lange continuèrent la fabrication de ces lampes qui se répandirent dans le public sous le nom de *quinquets*.

Argand de retour en France intenta un procès à Quinquet, le Conseil d'Etat lui donna gain de cause, mais la Révolution étant survenue, la discussion fut vite oubliée, et le nom de quinquet prévalut.

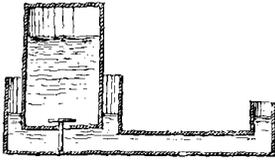


Fig. 2 — Principe de la lampe à niveau constant.

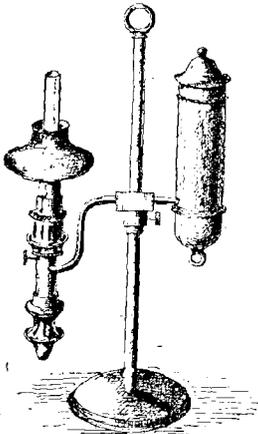


Fig. 4. — Quinquet monté sur pied.

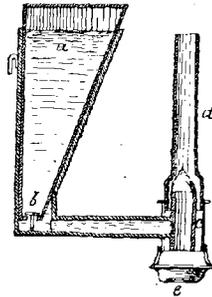


Fig. 3. — Quinquet

- a. bouteille d'alimentation.
- b. Soupape.
- c. Bec Argand.
- d. Cheminée coudés en verre.
- e. Godet pour recevoir les égouttures.

Argand, dont l'usine établie à Versoix, dans le pays de Gex, n'était pas très prospère, retourna en Angleterre exploiter son invention. Il ne réussit pas davantage et dut revenir à Versoix, où il entreprit des expériences sur les réflecteurs. Après avoir dépensé toute sa fortune dans des essais infructueux, Argand mourut pauvre sans avoir vu son nom donné à sa découverte. Ce n'est que longtemps après, que le bec à double courant d'air a été désigné également sous le nom de bec Argand.

Il convient de citer à propos de ce bec, le nom de Teulère qui, à peu près vers la même époque (1783), proposa l'emploi de mèches circulaires pour l'appareil d'éclairage du phare de Cordouan. Cette idée ne fut pas

mise à exécution, les phares n'ont reçu cette amélioration que beaucoup plus tard.

Les quinquets ont été à la mode pendant fort longtemps, on les fixait contre les parois des locaux ou couloirs à éclairer. Lorsque l'usage des lampes à pied commença à se répandre, il fallut donner au quinquet une forme se rapprochant de cette disposition. Le tube horizontal fut alors muni d'une coulisse avec vis de pression qui permettait à tout l'appareil de glisser le long d'un support vertical. Le bec et la cheminée faisaient équilibre au réservoir. On rencontre encore aujourd'hui quelques-unes de ces lampes, mais ce sont plutôt des appareils de luxe, que leur manipulation difficile exclut d'un service courant (fig. 4).

Des tentatives ont été faites pour appliquer les quinquets à l'éclairage public de la ville de Paris (1805-1808). Les expériences étaient conduites par Bordier Marcet, qui avait ajouté à l'appareil ordinaire un réflecteur parabolique fixé contre la paroi du réservoir. Ces essais n'eurent pas de suite, le gaz venait de faire son apparition. Il existe cependant encore quelques petites villes où l'éclairage public est obtenu au moyen de quinquets.

**Lampes à réservoir de niveau.** — Les appareils du type précédent avaient l'inconvénient de laisser dans l'obscurité tous les objets placés derrière le réservoir.

Bordier Marcet imagina de lui donner la forme d'un anneau plat supporté par un pied vertical au moyen de deux branches coudées. L'une des branches était creuse formant canal d'amenée de l'huile à la mèche qui se trouvait sensiblement au niveau du réservoir. Sur la face supérieure de l'anneau, deux ouvertures permettaient, l'une, l'introduction de l'huile pour l'emplissage du réservoir, l'autre, l'arrivée de l'air pour l'écoulement du liquide (fig. 5).

Le plus souvent cette lampe, désignée par son auteur sous le nom de lampe *astrale*, se complétait par une galerie placée autour du réservoir, et destinée à maintenir un réflecteur hémisphérique translucide.

On comprend aisément que, grâce à la forme très aplatie de l'anneau, les variations de niveau soient peu sensibles. Toutefois, avant l'emplissage de la lampe, il fallait avoir soin de régler la hauteur de la mèche. Le réservoir et la galerie donnaient encore une ombre sensible qui se projetait en forme d'anneau autour du pied.

Dans sa lampe *sinombre*, M. Philips remplace les faces horizontales

de l'appareil précédent par des plans inclinés de manière à réduire au minimum l'ombre portée. La galerie est supprimée, et le réflecteur en verre dépoli repose sur une couronne au-dessous du réservoir. La lumière ainsi diffusée dans tous les sens, supprime à peu près les parties

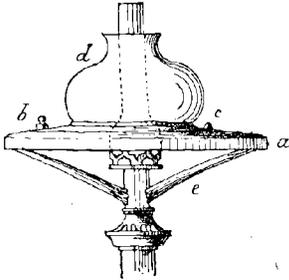


Fig. 5. — *Lampe astrale.*

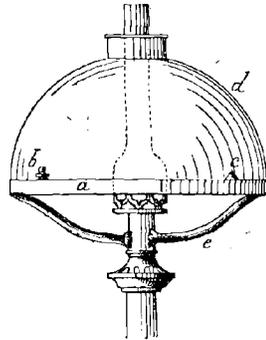


Fig. 6. — *Lampe sinombre.*

a. Réservoir. — b. Bouchon d'emplissage. — c. Trou d'air. — d. Réflecteur.  
e. Conduite d'alimentation

obscurcs (fig. 6). Une modification très importante de cette lampe est celle du bec. Grâce à une disposition assez ingénieuse, en imprimant un mouvement de rotation au porte-verre de la cheminée, on peut produire l'ascension ou la descente de la mèche. Il est désigné sous le nom de bec à charriot.

Ces lampes, malgré leur nom pompeux, ne remédiaient que d'une façon très incomplète aux imperfections du quinquet; et à part le bec de la lampe *sinombre*, tous ces appareils ont été complètement abandonnés.

**Lampes à réservoir supérieur.** — L'obligation d'installer les quinquets contre les murs des locaux à éclairer a forcé les constructeurs à chercher une disposition, qui permit de suspendre l'appareil au centre même de la pièce.

Le nombre des lampes résolvant ce problème est assez considérable; elles sont toutes caractérisées par la position du réservoir placé au-dessus du bec; mais quel que soit leur avantage respectif, la plupart ne sont plus usitées, et il ne subsiste guère que les lampes de voiture de chemins de fer.

Parmi ces dernières, il convient de citer la lampe à bec rond du chemin de fer du Nord qui donne une très belle lumière (fig. 7).

Le réservoir a la forme d'un anneau à section rectangulaire. En un

point de sa surface intérieure, il présente une saillie prolongée par un tube vertical fermé lui-même par une soupape empêchant l'écoulement du liquide. La queue de la soupape se termine par une fourche.

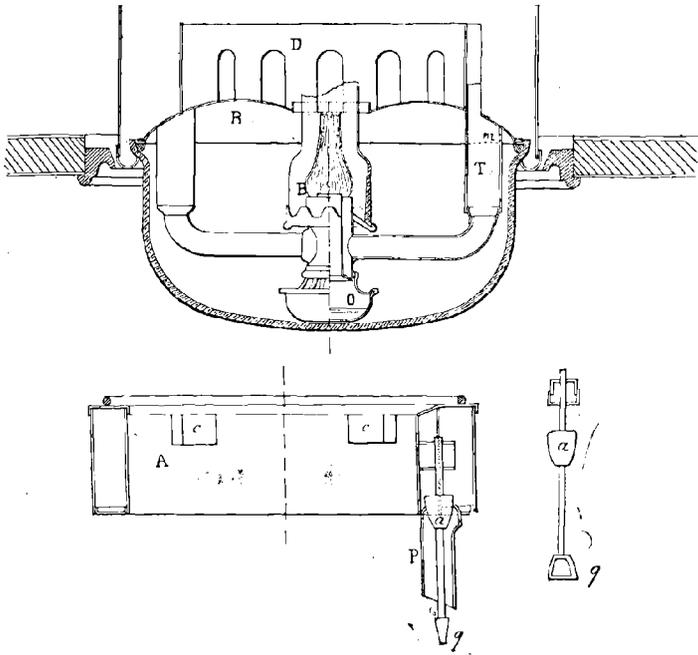


Fig. 7. — Lampe de voiture du Chemin de fer du Nord.

A. Bouteille d'alimentation. — B. Bec à double courant d'air. — D. Grille maintenant le réservoir. — a. Soupape dont la queue q bute contre les parois du tube d'alimentation T. — R. Réflecteur. — O. Godet. — P. Tube prolongeant la bouteille et contenant la soupape. Il se loge dans la branche T percée d'un trou m pour l'admission d'air.

On place ce réservoir ou bouteille d'alimentation au-dessus d'un étrier supporté par le réflecteur de la lampe. L'étrier a une de ses branches creuse, qui reçoit le prolongement vertical de la bouteille. Lorsque cette dernière est en place, la fourche de la soupape butant contre le fond de l'étrier la force à se soulever ; l'huile s'échappe alors et arrive jusqu'au bec. Par suite du vide qui se produit dans le réservoir, l'écoulement ne tarderait pas à s'arrêter, s'il n'y avait une nouvelle admission d'air. A cet effet, le tube vertical du réservoir a son extrémité taillée en biseau, et le point le plus haut se trouve à 5 ou 6 millimètres au-dessus de la partie supérieure ou platine du bec. Il en résulte que lorsque le niveau baisse dans le canal d'amenée, l'air peut pénétrer facilement dans le réservoir, et l'arrivée de l'huile se fait régulièrement.

Le principe est donc identique à celui du quinquet. L'appareil se complète par une cheminée en verre prolongée au-dessus par une deuxième cheminée en tôle. Un godet reçoit le trop plein du bec, un réflecteur en tôle nickelée renvoie la lumière dans tous les coins du compartiment.

La mèche de faible longueur se place dans un porte-mèche rappelant celui d'Argand ; elle est renouvelée après chaque allumage.

Tout l'appareil est contenu dans une lanterne en tôle fermée à sa partie inférieure par une coupe en verre préservant la flamme des courants d'air intérieur, et les voyageurs des gouttes d'huile qui pourraient s'échapper du godet. L'arrivée de l'air nécessaire à la combustion est assurée par des ouvertures ménagées sur le corps de la lanterne, et disposées de façon à ce que la flamme puisse résister aux plus grandes vitesses. La visite des lampes se fait par l'extérieur de la voiture sans déranger les voyageurs.

La contenance d'une lampe est de 585 grammes d'huile, sa consommation horaire est d'environ 32 grammes, soit une durée de 17 à 18 heures ; comme intensité lumineuse elle atteint environ 0 carcel, 70. Ces lampes sont employées dans les voitures de première classe seulement.

**Lampes diverses.** — Il existe encore un très grand nombre de lampes dont la construction varie avec la nature des matières à brûler ou des locaux à éclairer.

Comme les précédentes, elles ne sont plus usitées, et ont fait place aux lampes mécaniques. Il convient toutefois d'en citer quelques-unes dont le principe se retrouve dans d'autres appareils.

Une de ces lampes, qui a eu pendant longtemps un certain succès, est la lampe à *suif* de Pape. Elle peut brûler indifféremment des graisses, des suifs, des résines. Un réservoir latéral contenant la graisse est traversé par une tige métallique supportant un fumivore placé au-dessus de la flamme (fig. 8). La chaleur absorbée par ce fumivore suffit pour réduire par conductibilité le suif à l'état liquide. Un conduit horizontal amène ce liquide à la mèche. Le bec est à double courant d'air, il est muni à sa partie inférieure d'un godet destiné à recueillir le trop plein du liquide. Un filetage ménagé sur le porte-mèche permet, en imprimant au godet un mouvement de rotation, de faire monter ou descendre la mèche.

Tout l'appareil était monté sur un pied vertical. Cette lampe était employée surtout pour l'éclairage des ateliers. Elle avait reçu un certain,

nombre de modifications assez heureuses qui permettaient d'obtenir une lumière très claire et aussi blanche que celle du gaz ordinaire ; elle était en outre caractérisée par l'absence de cheminée.

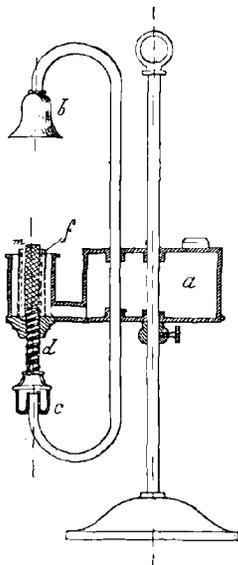


Fig. 8. — Lampe à suif.

- a. Réservoir contenant la matière à brûler.
- b. Fumivore fondant le suif par conductibilité.
- c. Godet servant à donner un mouvement à la mèche par l'intermédiaire de la vis d.
- f. Treillis métalliques pour retenir les impuretés m, mèche ronde.

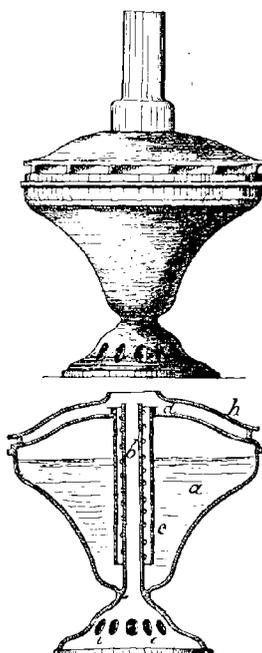


Fig. 9. — Lampe Solaire.

- a. Réservoir.
- b. Courant d'air central.
- c. Tube perforé.
- d. Écrou servant aux déplacements de la mèche.
- h. Deuxième enveloppe pour le courant d'air extérieur.

Vers 1840, apparurent les *lampes solaires*, dont le principe a été trouvé par Neuburger. Elles étaient destinées, au début, à brûler des résines, des huiles et des graisses. Dans le réservoir se trouvent logés deux tubes concentriques, le premier sert de passage au courant d'air intérieur, le deuxième, perforé, est immergé dans le liquide ; entre les deux on intercale la mèche qui a une très grande épaisseur, 5 millimètres environ (fig. 9). Le tube, perforé de fentes longitudinales, est muni à sa partie supérieure d'un pas de vis. Au moyen d'un écrou fixé sur le réservoir, on peut faire monter ou descendre ce tube qui entraîne la mèche par frottement. Jusqu'à présent, cette lampe ne présente rien de bien

particulier. C'est par l'arrivée du courant d'air extérieur qu'elle est caractérisée. Au-dessus du réservoir, et séparée de lui de quelques millimètres se trouve disposée une deuxième enveloppe métallique avec une ouverture au centre pour laisser passer la flamme. L'air arrive entre le réservoir et son enveloppe, et débouche perpendiculairement sur la flamme. Il en résulte une combustion complète caractérisée par l'absence totale d'odeur quelle que soit la substance en combustion. De plus, les deux dômes ne tardent pas à s'échauffer par conductibilité, et, non seulement l'air arrive chaud, mais encore le liquide du réservoir se volatilise plus rapidement. Aussi a-t-on pu brûler avantageusement des huiles lourdes et des résines. Le bec est surmonté d'une cheminée avec un coude de faible hauteur.

L'usure de la mèche est insignifiante, car elle ne se trouve pas soumise à l'action directe de l'air. La lumière obtenue est très claire et très blanche. Pendant longtemps, cette lampe a été alimentée avec de l'huile de baleine, dont la température de coagulation est assez élevée. Elle est employée encore quelquefois sur les navires qui font des expéditions dans les régions polaires. Mais, c'est surtout dans l'éclairage au pétrole qu'elle a donné les meilleurs résultats.

Toutes les lampes précédentes sont basées sur l'écoulement normal des liquides dû à la pesanteur. Dans une catégorie d'appareils, qui a attiré pendant longtemps l'attention des inventeurs, l'arrivée des liquides à la mèche se faisait sous l'action de la pression exercée, soit par l'huile elle-même, soit par un liquide étranger : ce sont les lampes *hydrostatiques* imaginées par Philippe de Girard (1803-1804).

Il y a deux types bien distincts de lampes hydrostatiques, l'un basé sur le principe de la fontaine de Héron, l'autre sur celui des vases communiquants.

La fontaine de Héron comporte trois réservoirs à des niveaux différents. Du réservoir moyen communiquant avec l'extérieur, le liquide s'écoule dans le vase inférieur complètement clos. Il en résulte une compression de l'air contenu dans ce dernier. Cet air à son tour réagit sur le liquide du réservoir supérieur, et le force à s'élever à une hauteur qui est sensiblement la même que la différence de niveau entre le réservoir du milieu et celui du fond (fig. 10).

Il est facile de concevoir maintenant qu'on puisse réaliser ainsi un appareil d'éclairage en mettant de l'huile dans tous les réservoirs. L'appareil, assez simple en théorie, ne l'est plus du tout dans l'application

par suite du nombre de tubes, de robinets ou soupapes qu'il comporte. Malgré les nombreuses tentatives pour le rendre pratique, il a dû être abandonné.

Les lampes basées sur le deuxième principe sont beaucoup plus simples. Lorsque, dans deux vases communicants, on verse des liquides de densité différente, les hauteurs de ces liquides comptées à partir du plan de séparation sont en raison inverse de leur densité. Il en résulte que, si l'un des liquides est de l'huile et l'autre une dissolution plus lourde, la hauteur de l'huile sera de beaucoup supérieure à celle de la dissolution. A mesure que l'huile brûlera, le niveau descendra dans le tube correspondant, mais par suite de la pression exercée par la dissolution cette chute de niveau sera diminuée. On peut de cette façon maintenir assez longtemps le liquide à la mèche, malgré la diminution du volume primitif. Thilorier employait comme liquide lourd du sulfate de zinc. Ces appareils trop volumineux et donnant une ombre considérable sont complètement abandonnés.

En résumé, de tous les appareils précédents, à part les lampes employées dans les Compagnies de chemins de fer qui, dès le début, avaient adopté ce mode d'éclairage, pas un seul n'a survécu. Aussi ne présentent-ils de l'intérêt, qu'au point de vue de leur conception ingénieuse, dont le principe a été ou pourrait être appliqué dans d'autres circonstances. Ils ne pouvaient lutter du reste contre les lampes mécaniques, qui présentent la véritable solution de l'éclairage à l'huile, surtout depuis que leur prix d'achat a sensiblement diminué.

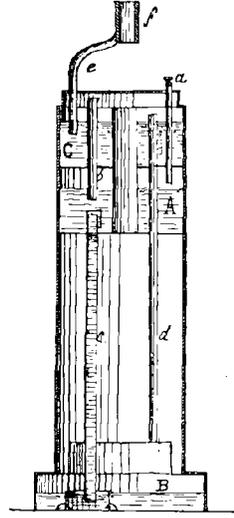


Fig. 10.  
*Lampe hydrostatique.*

- A. B. C. Réservoirs.
- a. Tube d'emplissage du réservoir A.
- b. Le réservoir A communique avec l'extérieur par le tube b.
- c. Tube mettant en communication les réservoirs A et B.
- e. L'air comprimé en B exerce son action en C par le tube d.
- d. Tube d'ascension de l'huile à la mèche f.

## II. — Lampes mécaniques.

---

**Lampe Carcel.** — La première lampe mécanique (1809) est due à l'horloger Carcel, dont la maison existe encore à Paris, rue de l'Arbre-Sec. Désignée sous le nom de *Lynoména* dans le brevet pris par Carcel et son associé Carreau, elle était caractérisée par la position de son réservoir situé dans le pied même de la lampe. Toutefois, comme l'huile ne s'élève par capillarité qu'à une faible hauteur dans une mèche, Carcel avait dû recourir à un mécanisme spécial pour produire l'ascension du liquide.

Ce mécanisme n'est pas apparent, il est contenu entièrement dans le fond du réservoir qui a la forme d'un cylindre vertical. Il comporte deux parties importantes: le générateur et le moteur.

Le générateur n'est autre qu'un mouvement d'horlogerie. Les transmissions par engrenages sont assez nombreuses, sans être trop compliquées cependant. On remonte le mouvement d'horlogerie au moyen d'une clef carrée ordinaire.

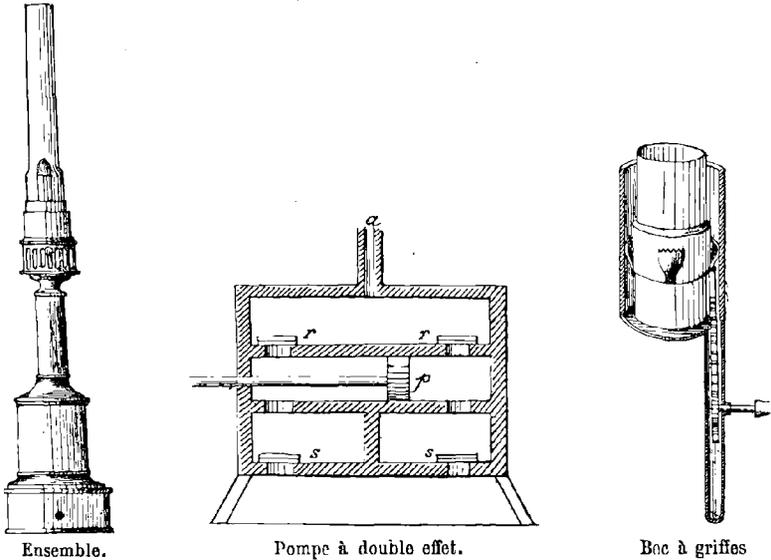
Le moteur est formé par une pompe à double effet, qui envoie l'huile d'une façon à peu près constante dans un tube vertical, jusqu'au bec placé au-dessus du réservoir. Le mouvement de rotation du générateur est transformé en mouvement de va-et-vient qui aspire et refoule l'huile à chaque coup de piston (fig. 11).

Le bec est à double courant d'air. Aux lampes actuelles on a appliqué le modèle de bec adopté pour toutes les lampes à huile. Dans ce système, le porte-mèche est soudé à une crémaillère engrenant avec un pignon mû par une clef extérieure; il peut recevoir ainsi un mouvement d'ascension ou de descente. Le cylindre de ce porte-mèche est muni de crochets formant ressorts, qui servent à maintenir la mèche. Lorsqu'on fait remonter le porte-mèche au-dessus du bec, les ressorts s'étalent et laissent la mèche complètement libre. Si on redescend la crémaillère, la mèche pincée par les griffes des ressorts descend avec eux.

Le bec est surmonté d'une cheminée coudée en verre. Quant à l'arrivée de l'air, elle est assurée par une galerie ajourée reposant sur le

réservoir. Ce dernier est à double fond, il suffit de dessouder celui du bas pour mettre à jour le mécanisme et le nettoyer.

La lampe Carcel est arrivée jusqu'à nous sans grande modification ; son inventeur avait du premier coup réalisé un appareil d'un fonctionnement très régulier. Aussi, dès qu'il fut question de fixer une unité de mesure d'intensité lumineuse, c'est à cette lampe qu'on eut recours. Il était nécessaire, en effet, d'avoir une source lumineuse dont les indications fussent les mêmes à chaque essai et pendant toute sa durée.



La lumière fournie par une lampe consommant 42 grammes d'huile à l'heure, sert d'unité d'intensité lumineuse. L'appareil a alors des dimensions absolument déterminées.

Diamètre extérieure du bec . . . . .	23 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> .5
Diamètre intérieur (courant d'air intérieur) . . . . .	17
Diamètre du courant d'air extérieur . . . . .	45
Hauteur totale du verre . . . . .	290
Distance du conde à la base du verre . . . . .	61
Diamètre extérieur au niveau du coude. . . . .	47
Diamètre extérieur du verre au haut de la cheminée. . . . .	34
Épaisseur moyenne du verre. . . . .	2

La mèche est formée de 75 brins; elle pèse 3 gr., 6 au décimètre de longueur. Les expériences faites avec beaucoup de soins, exigent de très

grandes précautions: renouvellement de la mèche à chaque essai, emplissage de la lampe jusqu'à la naissance de la galerie, élévation de la mèche de 10 millimètres, hauteur du coude du verre 47 millimètres au-dessus du niveau de la mèche.

La lampe Carcel est un appareil à peu près parfait, mais son prix d'achat a empêché sa vulgarisation. Toutes les modifications apportées depuis n'ont eu d'autre but que celui de diminuer ce prix trop élevé. Ce résultat ne pouvait être obtenu qu'en simplifiant le mécanisme, c'est le cas de la lampe Gagneau.

**Lampe Gagneau** (fig. 12).— Comme dans la Carcel, un mouvement d'horlogerie produit l'ascension du liquide. Une roue dentée soulève alternativement deux leviers agissant chacun sur un piston plein. La course de ces pistons est égale à la saillie des dents de la roue; les leviers sont disposés de telle façon que, lorsque l'un d'eux se trouve sur une dent,

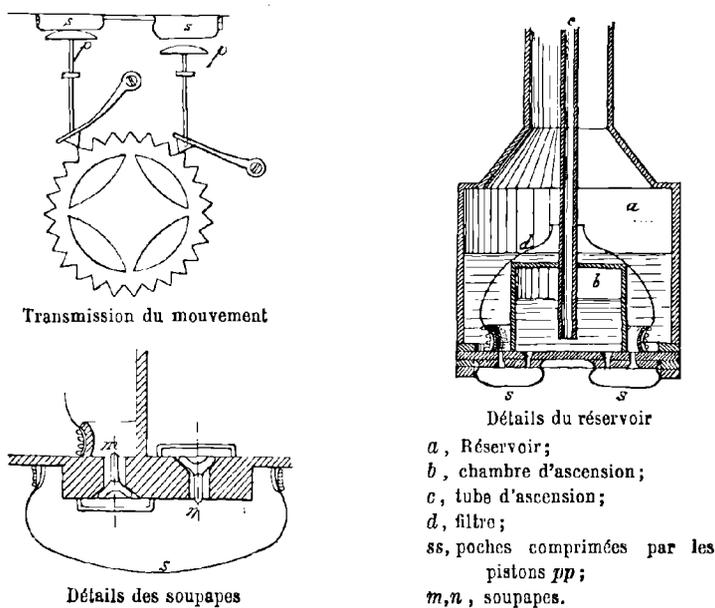


Fig. 12. — Lampe Gagneau.

l'autre se trouve dans un creux. Chaque piston agit sur le fond d'une poche ou tambour flexible en taffetas gommé. Le fond du réservoir correspondant à chaque poche est muni de deux soupapes s'ouvrant en sens inverse et servant l'une au refoulement, l'autre à l'aspiration. Les

souppes de refoulement s'ouvrent sur une capacité contenant le tube d'ascension. On comprend facilement que l'huile aspirée du réservoir est refoulée jusqu'à la mèche. Il y a deux pistons pour rendre l'ascension du liquide très régulière. L'appareil se complète d'un filtre qui arrête les impuretés, et les empêche de pénétrer dans la partie délicate du mécanisme. La forme extérieure de la lampe n'a rien de particulier. Le mouvement placé dans le fond du réservoir se remonte au moyen d'une clef carrée; un verrou permet de l'arrêter, empêchant ainsi le ressort de se détendre.

La circulation de l'huile dans cette lampe a été comparée à celle du sang à cause de son mouvement continu.

Les dimensions de ces lampes dépendent de la consommation, sensiblement proportionnelle au diamètre du bec.

Le bec de 24 millimètres consomme 60 grammes.

Le bec de 30 — — — 83 —

La lumière de la lampe Gagneau est très douce et très agréable; on l'emploie à peu près dans les mêmes circonstances que la Carcel. Mais son prix encore très élevé, 60 à 80 francs, lui fait préférer la lampe modérateur.

**Lampe modérateur.** — Dans cette lampe, l'huile est élevée à la mèche d'une façon régulière et continue par la simple pression d'un ressort à boudin agissant par l'intermédiaire d'un piston sur le liquide enfermé dans le pied de l'appareil.

L'idée de l'emploi d'un ressort et d'un piston est due à Philippe de Girard (1803). Dans son appareil, l'huile était contenue dans une poche flexible, dont le fond résistant était fixé à un ressort renfermé dans un tube servant de support à la lampe. En abaissant la poche flexible on agissait sur le ressort qui, dans le retour à sa position primitive, comprimait le réservoir et chassait l'huile vers le bec. La régulation se faisait par le poids même de la colonne de liquide.

En 1827, MM. Patelais imaginèrent un appareil dans lequel l'ascension de l'huile était produite par le poids d'un piston en fonte se déplaçant dans un cylindre vertical. Le piston était percé de deux ouvertures: l'une, munie d'une soupape pour l'introduction du liquide, l'autre pour le passage du tube d'ascension. En descendant, le piston comprimait le liquide et le forçait à s'élever. L'arrivée de l'huile à la mèche était

réglée par l'ouverture plus ou moins grande d'un robinet. Un treuil servait à remonter le piston arrivé à fond de course.

La même année, M. Allard modifia le système précédent, en remplaçant le robinet de réglage par un tube capillaire dans lequel s'enfonçait plus ou moins un fil métallique fixé au piston.

Peu à peu la lampe se perfectionne, M. Malbouche (1832) revient au piston mù par un ressort, mais il le munit d'une garniture en cuir qui facilite le glissement et diminue les fuites.

Le nom de *modérateur* est donné pour la première fois en 1833 par Giudicelli à un appareil identique au précédent.

La même année, Joanne (1833), groupe toutes les améliorations antérieures et donne au modérateur une forme très acceptable. Le piston est formé par un cuir embouti, pincé entre deux plaques métalliques ; la soupape d'introduction du liquide est supprimée ; l'admission se fait très facilement entre le cylindre et le piston lorsqu'on remonte ce dernier. Le régulateur est formé par une tige tronconique fixe s'engageant plus ou moins dans une ouverture percée sur un diaphragme qui se déplace avec le tube d'ascension. Ce dernier est lié au piston et le suit dans ses mouvements.

Mais, c'est bien plus tard (1837) que Franchot donna à la lampe modérateur la forme définitive qu'elle a encore actuellement ; cette lampe comporte deux parties principales : le moteur et le régulateur (fig. 13).

Un ressort en fil de fer ou d'acier contourné en double spirale agit sur un piston monté sur une tige creuse. Ce dernier est formé par une rondelle en cuir prise entre deux plaques métalliques légèrement embouties. Le cuir ferme hermétiquement le corps de la lampe constitué par le cylindre même du piston. L'ensemble du ressort et de la pompe constitue le moteur.

Lorsque le ressort est comprimé, c'est-à-dire, lorsque le piston est au haut de sa course, il tend à se détendre et comprime l'huile du réservoir qui n'a d'autre issue que la tige creuse du piston. Par suite même de la tension du ressort, la quantité de liquide envoyée au début, serait de beaucoup supérieure à celle de la fin de la course, si le régulateur n'intervenait.

Il est formé par un fil de fer fixe s'engageant dans la tige creuse du piston. Lorsque ce dernier est au haut de sa course, qui correspond à la tension maximum du ressort, le régulateur s'enfonce complètement dans le tube d'ascension et ne laisse passer que fort peu de liquide.

A mesure que le ressort se détend, le régulateur restant fixe dégage la tige creuse, l'huile arrive en plus grande quantité jusqu'à la fin de sa course. A ce moment la tige métallique, ne pénétrant plus dans celle du piston, le liquide parvient directement au bec.

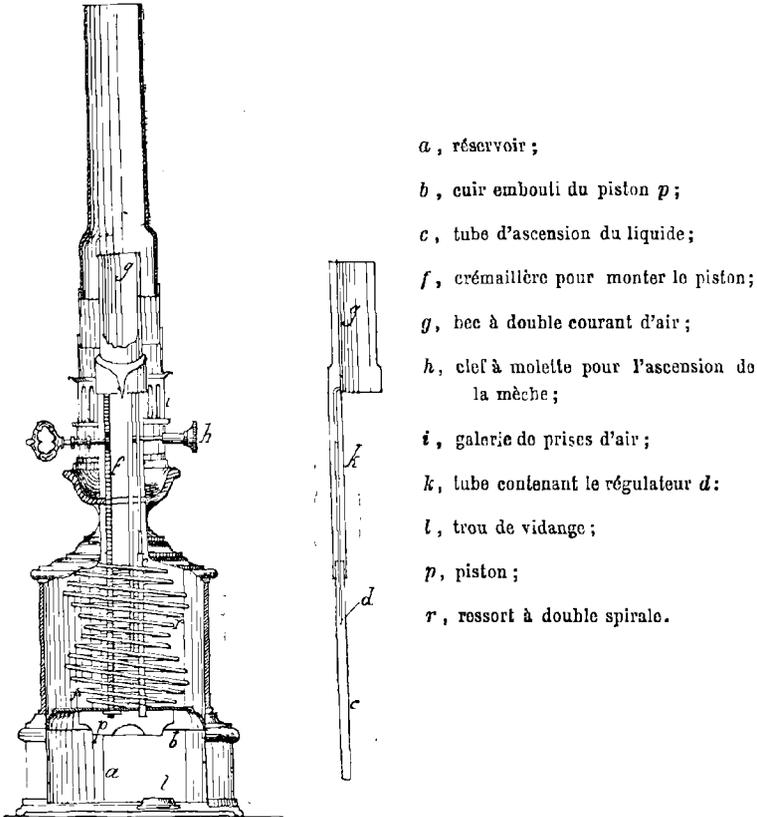


Fig. 13. — *Lampe modérateur.*

Arrivé au bas de sa course, le piston est remonté au moyen d'une crémaillère mue par un pignon, l'effort développé est peu considérable.

Cette opération peut se faire pendant le fonctionnement de la lampe, l'huile ne cesse jamais d'arriver au bec, il suffit de tourner la clef du pignon jusqu'à ce qu'on éprouve une certaine résistance.

L'emplissage du réservoir se fait par la cuvette du corps de la lampe; l'huile se trouve au-dessus du piston. En remontant ce dernier, le cuir se rabat et laisse passer le liquide dans l'intérieur du cylindre.

Le bec est à double courant d'air, avec porte-mèche à griffes, identique

à celui décrit dans la lampe Carcel, la mèche est mue par une clef à molette. La prise d'air se fait indistinctement pour le courant d'air intérieur et extérieur par une galerie ajourée reposant sur la cuvette.

L'arrivée de l'huile à la mèche a lieu par un cylindre creux prolongeant le bec et dans lequel se trouve le régulateur. C'est, dans l'espace annulaire formé par ce conduit et le régulateur, que se déplace à frottement doux la tige creuse du piston excentrée du reste par rapport à l'axe du cylindre. L'huile, qui n'a pas brûlé, coule le long du bec et vient ensuite tomber par deux gouttières dans la cuvette de la lampe. Enfin un trou de vidange ménagé dans le fond permet à de longs intervalles, le nettoyage du réservoir.

La lumière de la lampe modérateur est très blanche et très régulière, mais elle exige pour son bon fonctionnement des soins de propreté assez minutieux. Elle contient environ 910 grammes d'huile. Un bec de 24 mm. brûle à l'heure 45 gr. soit donc pendant 20 heures environ, durée plus que suffisante pour tous les besoins courants. Il faut avoir soin de remonter le piston à certains intervalles.

Un grand nombre de constructeurs ont essayé d'augmenter la capacité du réservoir; mais, pour ne pas changer la forme gracieuse de la lampe, ils ont cherché à réduire les organes intérieurs. D'autres ont modifié la forme du piston, mais d'une façon générale, le principe de l'appareil a été conservé.

Une lampe modérateur d'un emploi fréquent est la lampe Hardon qui se différencie de la modérateur de Franchot par les prises d'air du bec et par la cheminée. Dans l'appareil primitif, le courant d'air intérieur et extérieur ne sont pas distincts, ils partent tous deux de la galerie placée au-dessus de la cuvette du réservoir. Toutefois, le coude de la cheminée permet l'utilisation complète du courant extérieur. Dans la lampe Hardon au contraire, il y a deux prises d'air séparées par un diaphragme horizontal, on peut ainsi déterminer la quantité d'air nécessaire à chaque courant. Il en résulte que le coude de la cheminée devenu inutile a pu être supprimé. On reconnaît que cette sorte de dosage a un avantage, car la lumière est plus brillante, de plus on n'a pas à s'inquiéter de régler la hauteur du coude.

La lampe modérateur a marqué l'apogée des appareils d'éclairage à l'huile, et on ne doit guère compter sur d'autres perfectionnements que ceux apportés à la forme et à la décoration du réservoir, comme on a pu s'en convaincre dans les dernières expositions.

### III. — Organes des lampes.

Pour qu'une lampe fonctionne régulièrement, il faut que les divers organes qui la composent soient construits avec soin. En général, quel que soit le type de lampe, ces divers organes doivent satisfaire à des conditions spéciales qu'il est bon de connaître.

**Bec.** — Il y a fort peu d'observation à faire sur le bec plat dont l'emploi est de plus en plus restreint. La condition essentielle est de permettre l'arrivée facile de l'air. On peut dire cependant que, d'une façon générale, ces becs sont mal construits, le plus souvent l'accès de l'air est obstrué par le réservoir lui-même ou les tuyaux d'alimentation. Comme il n'est pas possible de supprimer complètement cet inconvénient, on doit donner la préférence aux appareils où il est en partie évité. Quant aux dimensions, elles dépendent surtout de la quantité de lumière qu'on désire obtenir, et cette dernière est sensiblement proportionnelle à la consommation. Un bec de 7 lignes ou 15 millimètres de diamètre consomme 13 grammes et donne 0 c, 21.

Les dimensions à donner au bec rond ont au contraire une grande importance. Le diamètre intérieur du bec doit être en rapport avec la consommation de la lampe. S'il est trop considérable, le courant d'air intérieur s'échappe alors sans avoir été utilisé. Si, au contraire, il est trop faible, il y a manque d'air, la lumière devient rouge et fuligineuse. Il n'y a pas de règle fixe à ce sujet. Le tableau suivant indique les dimensions adoptées par les différents constructeurs.

	Diamètre extérieur		Consommation	Pouvoir éclairer
Lampe modérateur .	7 lignes	15 <sup>mm</sup> ,8	17 <sup>gr</sup> ,66	0 <sup>carcel</sup> ,470
	9 —	20	21 ,31	0 ,576
	11 —	24 ,8	29 ,33	0 ,764
	13 —	29 ,5	37 ,02	0 ,948
Hardon . . .	14 —	30 ,2	45 ,00	»
Gagneau . . .	11 —	24 ,8	60 ,00	»
	14 —	30 ,2	80 ,00	»
Carcel . . . . .	23	23 ,5	42 ,00	1 carcel.
Bec rond (type Nord) 11 lig.	24	24 ,8	32 ,00	0 <sup>c</sup> ,65

Pour permettre l'utilisation du courant d'air intérieur avec des becs de forte dimension, on a essayé de placer au-dessus de ce dernier un obturateur ou champignon, qui le rabat complètement sur la flammé, mais cette complication a été abandonnée.

La largeur du bec, c'est-à-dire l'intervalle dans lequel se loge la mèche, a une grande importance surtout dans les lampes à niveau constant, où le liquide s'élève par capillarité. D'après Pécelet, les hauteurs que peut atteindre l'huile dans des espaces annulaires de diverses dimensions sont les suivantes :

Largeur.		0 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> ,5	Hauteur	13 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> ,60
—	.	1	»	6 ,10
—	.	2	»	3 ,40
—	.	3	»	2 ,26
—	.	4	»	1 ,70
—	.	5	»	1 ,26
—	.	6	»	1 ,13

Il en résulte qu'on a intérêt à employer des becs de faible épaisseur, mais alors la moindre inégalité dans cette dimension fait varier l'ascension du liquide, la mèche se carbonise aux points où l'alimentation est insuffisante. Une autre difficulté, c'est qu'avec un espace annulaire trop faible, le nettoyage devient très difficile, sinon impossible.

En général, les deux cylindres qui forment le bec n'ont pas la même hauteur, la paroi intérieure est plus élevée, le métal étant bon conducteur de la chaleur en absorbe une certaine quantité, empêchant ainsi la mèche de charbonner. De plus, l'huile qui arrive en excès, forme un bourrelet qui se déverse en nappe le long du cylindre extérieur refroidissant encore le bec.

Le bec rond est caractérisé par ses deux courants d'air intérieur et extérieur. Dans un grand nombre d'appareils, les prises de ces courants ne sont pas distinctes ; la séparation en est faite par le bec lui-même. On se contente de réduire au minimum le courant extérieur, quitte à l'utiliser complètement par l'addition d'un coude dans la cheminée. Au contraire, dans des appareils plus récents, les prises d'air sont séparées, on peut en quelque sorte doser la quantité nécessaire à chacun d'eux. La flamme obtenue est plus blanche et plus claire, de plus, le coude de la cheminée a pu être supprimé ; et l'on n'a pas à s'inquiéter de régler la hauteur de cette dernière.

Les becs se font en fer blanc ou en cuivre avec une soudure latérale ; mais depuis quelques années, on emploie des tubes en fer blanc emboutis.

**Mèche.** — La mèche, au début, était formée par une série de fils parallèles plongeant directement dans le liquide. Plus tard, pour les becs plats, on employa une mèche tissée en coton imbibée de suif pour lui donner plus de rigidité, et l'empêcher de charbonner trop vite.

La mèche ronde est due à Argand. Elle est formée par un tissu croisé en coton et soie, son diamètre est désigné par un numéro correspondant à celui du bec. Le tissu en doit être ni trop lâche ni trop serré, car dans ce dernier cas surtout l'ascension du liquide se fait difficilement. Pour placer la mèche, on a imaginé une foule d'appareils, mais le plus commode consiste en un simple mandrin en bois. On l'enfonce d'abord dans le bec, il suffit ensuite d'emmancher la mèche qui descend avec le porte-mèche. Lorsqu'elle est arrivée à fin de course, on retire le mandrin, et on coupe avec beaucoup de soin les bords, car la moindre inégalité la ferait fumer.

Pour obtenir une bonne lumière, on élève la mèche aussi haut que possible, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'on voit les dimensions de la flamme rester fixes.

Les mèches doivent être conservées à l'abri de la poussière et de l'humidité qui ont pour effet de diminuer le pouvoir capillaire.

**Cheminée.** — La cheminée formée par un cylindre en verre, a pour but d'activer le tirage et de donner à la flamme une grande fixité. Le plus souvent ce cylindre augmente de diamètre vers le bas de manière à présenter un coude.

Le coude rétrécit le courant d'air extérieur et le dirige sur la flamme de manière à obtenir une combustion complète. Il n'agit qu'autant qu'il est placé à une hauteur convenable : trop haut ou trop bas il fait fumer. Aussi, quel que soit le type de lampe, le porte-verre doit pouvoir se déplacer de manière à obtenir la hauteur désirable.

La hauteur de la cheminée et son diamètre au-dessus du coude sont deux dimensions importantes.

La hauteur augmente le tirage, c'est d'elle que dépend la vitesse de l'air. Plus le tirage est actif, plus la flamme est brillante, mais son volume diminue. Toutefois, il y a une vitesse qu'il ne faut pas dépasser,

car le courant d'air n'ayant pas le temps de s'échauffer amène l'extinction de la flamme. Cette hauteur varie avec la forme du bec et la nature du combustible, aussi doit-on pouvoir la modifier à volonté. Dans les lampes à niveau en général, un mouvement de rotation imprimé au godet fait monter ou descendre le porte-verre entraînant avec lui la cheminée. Dans les lampes mécaniques, il se déplace le long du bec, de plus, il est muni de trois fentes longitudinales qui lui permettent d'agir comme un ressort, et de serrer plus ou moins la cheminée. Ce système permet en outre la dilatation du verre sans le briser.

Quant au diamètre de la cheminée, il doit être aussi faible que possible; les produits de la combustion s'échappent alors difficilement et on obtient, pour une lumière déterminée, une plus faible consommation d'huile, c'est-à-dire un meilleur rendement du combustible; mais les cheminées étroites s'échauffent beaucoup et cassent facilement.

La condition d'avoir un diamètre réduit, se démontre en perceant un trou sur la cheminée au-dessus de la flamme, on la voit immédiatement devenir plus blanche, et on constate que la consommation diminue. L'introduction latérale de l'air a comme conséquence de réduire le diamètre de la cheminée et de brûler les derniers gaz combustibles. Dans la pratique, il n'est pas possible d'employer de cheminées en verre percées; leur fragilité est trop considérable.

Tout en donnant au diamètre une dimension plus forte, on peut, en plaçant au-dessus de la cheminée un obturateur, réduire la consommation; mais ce système n'a pas prévalu, car il arrive souvent que cet obturateur tombe et brise le verre.

Aussi préfère-t-on employer des cheminées d'un diamètre relativement élevé, la perte en combustible qui en résulte, est amplement compensée par la durée plus longue du verre.

Voici à ce sujet les dimensions de cheminée des lampes les plus employées :

	Hauteur	Diamètre intérieur au haut de la cheminée
Lampe Carcel. . . . .	290	34 <sup>m</sup> /m
Modérateur Franchot } 13 lignes. . . . .	300	30
	14 lignes. . . . .	300
— Hardon. . . . .	240	32
Bec rond (type Nord) . . . . .	220	24

Les cheminées se font généralement en verre double ou en cristal.

Quoique d'un prix plus élevé, ces dernières sont préférables à cause de leur durée, elles cassent moins souvent sous l'action de la chaleur.

Le nettoyage des cheminées se fait au plâtre qui absorbe l'humidité et les corps gras. On peut frotter ensuite avec un goupillon sans crainte de rayer le verre. Enfin, on essuie la cheminée avec un chiffon très sec. Cette préparation doit se faire avec soin, car c'est d'elle que dépend en partie la bonne qualité de la lumière.

---

#### IV. — Fabrication.

---

Le nombre des plantes oléagineuses est assez considérable, mais quelques-unes seules fournissent de l'huile propre à l'éclairage. Parmi les plus usitées, il faut citer l'huile de colza et de navette, accidentellement celle d'olive, de chanvre, de coton.

Le colza est une espèce de chou assez cultivé dans le Nord de la France. La graine noire et lisse est seule utilisée à la fabrication de l'huile, il y a un assez grand nombre de variétés de colza, les plus importantes sont : le colza guzerat et le colza brun des Indes. Cette plante se sème au mois d'août, la récolte a lieu en juillet et atteint 30 à 35 hectolitres par hectare.

L'huile de navette est produite par la graine de la plante racine du chou rave ou du navet ; on la laisse suffisamment se développer pour que tous les éléments importants s'accumulent dans la graine beaucoup plus claire que celle du colza. On peut faire deux semis de navette, au printemps et en automne, ce dernier est préférable à cause de son rendement. La production en France est peu importante, les Indes et la vallée du Danube en fournissent la majeure partie.

Le colza et la navette sont cultivés dans des terrains maigres, un temps sec leur est assez favorable, car la pluie trop abondante les empêche de murir.

Les graines séparées de la plante sont conservées en tas dans des greniers avant d'être envoyées à la fabrication. Il faut avoir soin toutefois de les agiter assez souvent.

**Fabrication.** — La fabrication de l'huile se fait dans des moulins à huile ou tordoirs. De faible importance au début, cette industrie n'employait d'autre force motrice que celles de la nature ; mais depuis plusieurs années elle s'est améliorée et les usines à vapeur sont assez nombreuses.

Il faut environ une force motrice de 15 à 16 chevaux pour produire

3.000 kilogrammes d'huile, représentant 8 à 9.000 kilogrammes de graines traitées en 24 heures ; mais il existe des usines de 200 chevaux pouvant traiter 60.000 kilogrammes de graines en 24 heures, soit 25.000 kilogrammes d'huile propre au commerce.

Les graines avant de subir toute préparation doivent être débarrassées des corps étrangers, ce nettoyage se fait au tarare.

L'extraction de l'huile comporte deux opérations bien distinctes : briser l'enveloppe des cellules qui contiennent l'huile, et séparer par compression le liquide de ces enveloppes. En général, ces deux opérations sont répétées un certain nombre de fois, dont la première porte le nom de froissage, et les autres de rebat.

*Froissage.* — Pour écraser la graine, on commence à la soumettre d'abord à l'action de deux cylindres en acier disposés horizontalement. Leur diamètre varie de 0<sup>m</sup>,25 à 1<sup>m</sup>,30 et leur longueur, de 0<sup>m</sup>,60 à 0<sup>m</sup>,70. Ils tournent généralement avec des vitesses inégales, voisines de 90 tours, de manière à produire le déchirement de la graine.

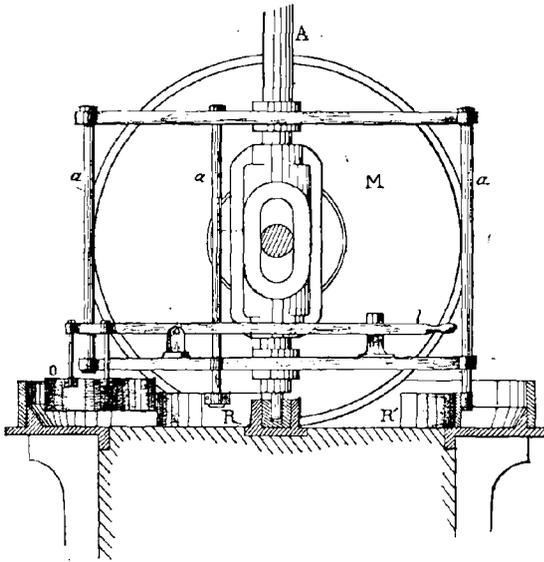
A leur sortie des cylindres, les graines sont envoyées au moulin de broyage ou *tordoir*. Il est formé par deux meules verticales en granit d'environ 2<sup>m</sup>,25 de diamètre sur 0<sup>m</sup>,42 de largeur. Ces deux meules ou valseuses tournent autour d'un axe vertical à des distances un peu différentes, elles se déplacent sur une meule dormante ou lit. L'arbre vertical qui entraîne les meules dans son mouvement de rotation, est muni d'un renflement percé à jour, dans lequel passe l'arbre horizontal des meules. Cet assemblage permet à ces dernières de se soulever plus ou moins lorsque la résistance à vaincre est par trop considérable. Entre les deux meules, et tournant avec elles, se trouvent deux racles destinées à ramener la matière en travail sous le chemin d'action des meules. Leur vitesse de rotation est de 20 à 25 tours par minute, et leur poids varie de 7 à 8.000 kilogrammes (fig. 14).

Lorsque l'opération du broyage est terminée, environ au bout d'une heure pour 100 kilogrammes de graines, on retire la pâte en ouvrant une trappe sur le côté de la meule dormante. Un rabot ramasseur l'amène sur les bords.

Depuis quelques années, on remplace ces tordoirs par des moulins à cylindres horizontaux qui laminent et écrasent davantage la graine. On emploie également avec succès le broyeur conique à force centrifuge d'Hignette.

Avant d'être soumise à la compression, la pâte doit être chauffée,

l'huile en effet est mélangée à des substances liquides comme l'albumine et la légumine, qu'il suffit de coaguler par la chaleur pour s'en débarasser. Les fourneaux ou chauffoirs de froissage, qui reçoivent la pâte à la sortie du tordoir, sont en fonte ou en cuivre. Ils sont formés simplement par une table horizontale, sur laquelle repose directement un cylindre vertical. La pâte est agitée pendant tout le chauffage au moyen



M, Meules mues par l'arbre A;  
R,R, Racles soutenues par les  
tiges a a ;  
O, Rabot ramasseur mû par le  
levier l.

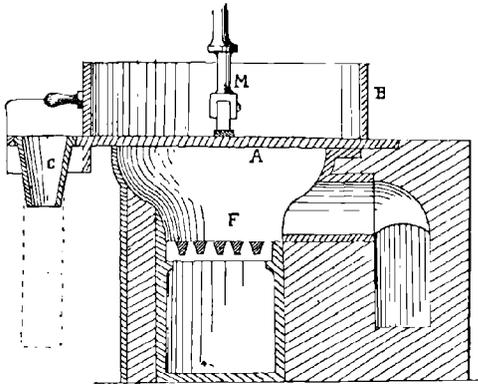
Fig. 14. — Moulin de broyage ou tordoir.

d'agitateurs mécaniques ou mouvets. Ces fourneaux sont chauffés à feu nu, ou mieux encore au moyen de la vapeur. La température à obtenir varie de 50 à 55°. A ce moment, on retire les agitateurs et on fait glisser le cylindre du four de manière à faire tomber dans une trémie la pâte à la température voulue (fig. 15).

La pâte est enfermée dans une enveloppe formée par une sorte de serviette en laine et fil. Un cadre métallique contient la pâte entourée de son enveloppe filtrante, chaque cadre en renferme de 15 à 16 kilogrammes. Dans le début, la serviette était remplacée par un sac, pouvant contenir 4 à 5 kilogrammes de pâte, et entouré d'une enveloppe désignée sous le nom de *scourtins* ou *êtreindelles* suivant le pays. Le tissu de ces enveloppes était fait avec un mélange de crins et de poils, leur entretien coûteux leur a fait préférer le système précédent.

Les cadres ou les êtreindelles sont soumises alors à l'action énergique

d'une presse hydraulique donnant 150 kilogs de pression par centimètre carré. En général, la presse est en deux parties comportant chacune la



- A , Table recevant la pâte maintenue par le cylindre B mobile ;
- M , agitateur ;
- C , trémie ;
- F , foyer à feu nu ;

Fig. 15. — *Chauffoir.*

moitié des cadres. Pendant qu'un ouvrier prépare la première moitié des cadres, l'autre est sous pression. Le travail est ainsi continu. Cette opération la plus importante donne l'huile de première qualité.

*Rebat.* — La pâte n'abandonne qu'une partie de l'huile qu'elle renferme, aussi est-il nécessaire de lui faire subir un nouveau traitement qui constitue le rebat.

Au sortir des presses, les grains agglomérés sous forme de tourteaux, sont passés de nouveau au tordoir, et envoyés ensuite au chaffoir, mais la durée du chauffage n'est plus que la moitié de celle du froissage. Puis on les soumet à une nouvelle compression.

L'opération du rebat peut se répéter plusieurs fois, mais l'action des presses doit être de plus en plus énergique, on suit la progression de 150, 200 et 300 kilogrammes par centimètre carré. Le liquide provenant de ces diverses opérations est mélangé et donne de l'huile de deuxième qualité.

L'huile n'est pas livrée directement au commerce, elle doit subir au préalable plusieurs épurations. Elle est d'abord mélangée avec de l'eau. Cette sorte de lavage est favorisé par une agitation continue. Au début, cette agitation se faisait à la main et constituait le battage. On emploie actuellement des agitateurs mécaniques. Après ce premier lavage, l'huile décantée est soumise à l'action de l'acide sulfurique dans la proportion de 5 à 0,5 %, suivant que l'on opère à froid ou à chaud ; on agite vive-

ment le mélange. Au début, quand on verse l'acide, le liquide a un aspect verdâtre, il devient noir lorsque l'opération est terminée. On laisse alors reposer le liquide et on décante l'huile qui doit être filtrée.

Les filtres sont constitués par de grands réservoirs cylindriques de 7 à 8 mètres de profondeur. Vers le milieu, ils sont munis d'un plancher en bois perforé sur lequel repose une étoffe de laine surmontée de sciure de bois. C'est en traversant ces diverses substances que l'huile se filtre. La durée de l'opération est très variable, elle dépend de la plus ou moins grande compression de la sciure, elle atteint en moyenne 200 kilogrammes d'huile par mètre cube de sciure.

L'huile est alors suffisamment épurée pour être livrée au commerce, on la conserve dans des réservoirs en tôle ou des citernes en briques.

Dans ces dernières années, on a essayé d'extraire l'huile des plantes oléagineuses en ayant recours à des dissolvants, c'est-à-dire, en employant le procédé usité pour la fabrication des huiles essentielles. Mais l'application n'en a été faite que d'une manière très restreinte dans quelques usines du Midi de la France.

L'huile bien épurée se présente sous la forme d'un liquide jaunâtre, transparent, onctueux au toucher et sans saveur. Sa densité varie suivant son origine, celle de colza pèse 0,9136 et l'huile de navette atteint 0,9178. Elle se solidifie à basse température : — 6° pour l'huile de colza, et — 3°,73 pour celle de navette. Fortement chauffée, elle reste fixe jusqu'à une température assez élevée voisine de 300°, au-delà de laquelle elle se décompose en donnant des carbures éclairants. L'huile est très dilatable par la chaleur, ce qui explique le coulage des fûts pendant l'été.

Mise au contact de l'air, elle en absorbe l'oxygène qui diminue sa fluidité et la fait rançir, elle est alors d'un aspect verdâtre. L'huile est insoluble dans l'eau, mais elle s'unit au contraire très facilement aux essences et aux autres huiles de natures différentes avec lesquelles elle forme des mélanges intimes.

Ces divers caractères sont bien insuffisants pour pouvoir indiquer la nature d'une huile, qui le plus souvent est le résultat d'un mélange de liquides de diverses provenances. En ce qui concerne l'éclairage, il est nécessaire de l'essayer dans une lampe déterminée, et de procéder par comparaison, au point de vue du pouvoir éclairant et de la durée, avec une autre huile prise comme type.

**Résidus.** — Comme dans toute fabrication, il y a des résidus que l'on tache d'utiliser le mieux possible. Ils sont au nombre de trois : les *tourteaux*, les *féces* et les *eaux acides*.

Les *tourteaux* sont formés par l'enveloppe des cellules de la graine débarrassées de toute la partie liquide. Ils contiennent deux sortes de produits ; les uns sont propres à l'alimentation des animaux, les autres, à la culture comme engrais, d'où deux emplois bien distincts. Toutefois, on a remarqué, et ceci est confirmé par l'analyse chimique, que les éléments propres aux engrais ne convenaient pas à l'alimentation, mais qu'on les retrouvait presque intacts dans le fumier. Il en résulte que pour employer utilement le tourteau, il faut le donner d'abord aux bestiaux dont le fumier se trouve enrichi par la même occasion. Malheureusement, tous les tourteaux ne conviennent pas à l'alimentation et quelques-uns renferment des produits toxiques.

La quantité de tourteaux obtenus dans une fabrication est assez variable et dépend de la nature des graines.

Un hectolitre de colza pesant 68 à 70 kilogrammes donne 24 à 26 kilogrammes d'huile et 30 à 32 kilogrammes de tourteaux. La navette, dont l'hectolitre pèse 60 à 70 kilogrammes, rend beaucoup moins : 20 à 26 kilogrammes, et le reste en tourteaux. Les tourteaux du colza caractérisés par leur couleur jaune ou verte sont parfois toxiques par suite de l'absence de graine de moutarde qu'ils peuvent contenir. Ceux de navette au contraire sont employés pour la nourriture des vaches laitières.

Les *féces* constituent un résidu liquide provenant de l'épuration ; d'après leur densité, ils sont compris entre l'huile et l'acide. Aussi ce mélange d'huile et d'acide convient-il parfaitement à la fabrication des savons.

Les *eaux acides* sont employées au décapage des tôles, après avoir servi naturellement à plusieurs épurations.

La culture des plantes oléagineuses, très prospère vers le milieu de ce siècle, va constamment en diminuant comme l'indiquent les chiffres suivants :

En 1862 il y avait	201.000	hectares	de	culture.
En 1882	—	92.000	—	—
En 1889	—	61.000	—	—

soit une réduction de 34 % de 1862 à 1882 plus apparente que réelle car, grâce aux facilités de transport, une grande quantité de graines

vient de l'étranger. Cette industrie est encore très prospère, d'autant plus qu'elle est complémentaire de la fabrication des huiles d'œillette, de lin, etc. Marseille et le Nord de la France sont deux centres importants pour la fabrication des huiles, qui tiennent encore une place très considérable sur les divers marchés de l'Europe.

---

## DEUXIÈME PARTIE

---

# PÉTROLE

---

### I. — Traitement des huiles minérales.

---

**Historique.** — L'huile minérale a été connue dès la plus haute antiquité. Hérodote et Pline en parlent dans leurs ouvrages, et ce n'est cependant qu'en 1860 qu'elle a fait son apparition en Europe. Il a fallu toute cette longue période pour arriver à utiliser ce précieux combustible, répandu en si grande abondance sur la surface du globe.

Une des plus anciennes applications, sinon la première, est celle qu'en faisaient en Asie les adorateurs du feu. Ils plaçaient leurs autels au-dessus de certains dégagements gazeux enflammés accidentellement. Ces émanations provenaient de gisements pétrolifères qui ont fourni pendant des milliers de siècles, l'élément principal d'un culte aujourd'hui à peu près disparu. On rencontre encore quelques-uns de ces temples, mais avec un nombre de fidèles extrêmement réduit.

Les Egyptiens se servaient également des huiles minérales pour préparer leurs momies. Ils faisaient macérer les corps dans un bain de bitume fondu provenant de la Mer Morte ou lac Asphaltique ; le liquide en imprégnant peu à peu les organes les rendait imputrescibles.

Tous les peuples de l'antiquité ont connu le pétrole, mais aucun d'eux n'a su l'utiliser à l'éclairage, tout au plus profitaient-ils de sa grande inflammabilité pour illuminer par de véritables incendies leurs festins en plein air. Son usage ne s'est jamais introduit dans l'intérieur des habitations.

Le Moyen-Age ne fit pas avancer beaucoup la question ; seuls les résidus lourds des huiles minérales entraient dans la confection des feux grégeois. Quelques sources cependant, comme celle de Gabian, dans le département de l'Hérault, jouissaient alors d'une certaine renommée, on leur attribuait de grandes propriétés antirhumatismales.

Les Chinois ont su utiliser les dégagements gazeux naturels. Bien avant la découverte du gaz de houille, ce peuple industrieux recueillait avec soin les carbures volatils s'échappant de dépôts pétrolifères, et les distribuait ensuite au moyen d'une canalisation en bambou aux différents foyers à desservir.

L'Amérique a toujours produit en quantité considérable l'huile minérale. En 1627, le missionnaire Delaroche parle d'une « fontaine de bitume » qu'il avait vue au Sud-Ouest du lac Ontario. La source d'huile minérale, qui a valu à la rivière pensylvanienne le nom d'*Oil Creek*, était très connue des peuplades indiennes, qui recueillaient avec soin le pétrole réputé alors pour ses propriétés purgatives et antirhumatismales. On l'expédiait ensuite sur l'ancien continent où il était vendu fort cher.

Dans leurs fêtes publiques, les Iroquois, voisins du fort Duquesne près de la ville actuelle de Pittsburg, allumaient des rivières entières de ce liquide au risque d'incendier tout le voisinage.

Mais ces quelques applications ne suffisaient pas à utiliser tout le pétrole de cette riche contrée. Vers la fin du xviii<sup>e</sup> siècle, des chercheurs d'eau salée parcouraient ce pays, fonçant des puits pour mettre à jour des nappes souterraines riches en sels minéraux. Bien des fois, au lieu d'eau salée, on voyait apparaître de l'huile minérale qui rendait le fonçage improductif et ils étaient obligés d'abandonner ce liquide sans application et par suite sans valeur.

Les propriétés du pétrole ont été découvertes d'une manière assez indirecte. Vers 1832, le gaz commençait à se répandre comme moyen d'éclairage, un chimiste genevois, Selligues, dans un but de concurrence, imagina d'employer comme source lumineuse l'huile que l'on retire des schistes bitumineux. Ces schistes ne sont autres que des pierres noirâtres se présentant comme l'ardoise sous forme de lames très minces; mis au contact d'une flamme ils prennent feu. En les chauffant dans des cornues, Selligues obtenait un liquide assez fluide et très inflammable. Après de nombreuses recherches, il arriva à construire une lampe qui permettait de brûler cette huile avec une flamme très éclairante.

Les résultats de Selligues encouragèrent les essais, Young de Glasgow (1847) répéta ces expériences avec des schistes plus riches encore : le boghead et le cannel cools employés actuellement à la fabrication d'un gaz riche, dont on se sert pour augmenter le pouvoir éclairant du gaz ordinaire. Les essais furent couronnés de succès.

On exploite encore à ciel ouvert les carrières à schistes des environs d'Autun et de la vallée de l'Allier pour en extraire l'huile qu'ils renferment.

Par un simple rapprochement, il devint facile de constater que l'huile minérale jouissait des mêmes propriétés que l'huile de schiste. Dès lors, la conquête du pétrole était assurée et une nouvelle richesse était acquise à l'industrie. En très peu de temps, la valeur de ce liquide s'accrut dans des proportions considérables. Les chercheurs d'eau salée habitués au fonçage des puits se mirent à la recherche des sources de pétrole. En 1853, près de Titusville dans la vallée de l'Oil Creek (quai de l'huile) en Pensylvanie, le colonel Drake donna le premier coup de sonde, dans le but exclusif de trouver du pétrole. Il rencontra la nappe liquide à 21 mètres de profondeur ; le rendement de la source était de 48 hectolitres par jour. Drake fit en fort peu de temps une fortune colossale.

L'élan était donné, et de toutes parts on se précipita sur les monts Alleghanys à la recherche de cette nouvelle mine d'or. C'est par centaines, puis par milliers, qu'on creusa des puits dans cette vallée de l'Oil Creek. On compta un moment plus de 317 Compagnies. La spéculation s'en mêlant, il en résulta un jeu effréné aussi bien sur le pétrole que sur l'outillage nécessaire à son exploitation. Cette époque a été appelée la période des rois du pétrole, c'est la plus florissante, quelques puits débitaient alors 1.000 et même 1.200 hectolitres de liquide par jour.

Peu à peu cependant la fièvre s'est calmée, l'exploitation se fait régulièrement. Le centre de production est toujours la vallée de l'Oil Creek, les puits sont disséminés sur toute la longueur du bassin houiller de Pittsburg. Il y en a près de 60.000, mais les nappes les plus riches ont été épuisées, et malgré ce nombre considérable de points d'extraction, le débit n'est pas supérieur à celui d'il y a dix ans.

Le pétrole ne fit son apparition en Europe qu'en 1860. D'abord très faible, la consommation s'est accrue dans des proportions considérables. En 1889, elle s'élevait en France au chiffre de 184.101 tonnes et elle croît encore chaque année de 10 à 12 % sur le chiffre de l'année précédente. Cette progression est sensiblement la même pour tous les pays.

Pour satisfaire à une consommation aussi importante, il était nécessaire de trouver d'autres gisements. C'est en Russie qu'apparaît le nouveau centre de production.

Les pétroles russes datent de 1870 ; la production atteignait alors une cinquantaine de millions de kilogrammes. Ce chiffre suffit pour exciter la convoitise des exploitants.

Le territoire de Bakou, sur les bords de la Mer Caspienne, à l'endroit même occupé par les temples des anciens adorateurs du feu, appartenait au gouvernement russe depuis 1813. Il fut alors divisé en 48 lots et vendu aux enchères. En trois ans (1873), toute l'exploitation fut organisée et cette nouvelle source eut comme conséquence forcée l'abaissement du prix du pétrole sur les marchés européens. Pendant quelques années, il y a eu dans ce pays comme un déluge de pétrole sous forme de sources jaillissantes qu'on ne pouvait maîtriser. La production s'élève actuellement au chiffre important de 3.800.000 mètres cubes. A côté de ces deux centres principaux d'Amérique et d'Asie, il en existe un certain nombre de moindre importance. Dans l'Amérique du Sud, en Autriche, en Roumanie, en Alsace, on exploite quelques gisements donnant de très beaux résultats. Des sondages récents ont montré que ce combustible était loin d'être épuisé, et qu'il en existait des dépôts considérables en Asie et en Australie. Il suffira de quelque nouvelle application importante pour amener leur exploitation.

**Extraction.** — L'extraction du pétrole se faisait au début d'une manière fort simple. On trempait des étoffes spongieuses dans des amas d'huile répandue sur le sol. Lorsqu'elles étaient bien imbibées, il suffisait de les tordre au-dessus de grands bacs pour en extraire le liquide absorbé.

Cette méthode par trop primitive a fait place à une série de procédés plus complets et plus rationnels. L'huile minérale ne se présente pas toujours sous la forme d'amas ou de source naturelle, le plus souvent au contraire il est nécessaire d'aller la chercher dans le sol à des profondeurs assez considérables, pouvant atteindre 900 et 1.000 mètres.

On commence d'abord par s'assurer de l'existence du dépôt pétrolifère par un sondage préalable. Ces sondages se font à la corde ou au moyen de tiges rigides. Le procédé à *la corde*, qui est celui des anciens chercheurs d'eau salée, consiste à laisser tomber d'une certaine hauteur un outil de forage qui, en frappant le sol, le désagrège. Après plusieurs coups de sonde, on remonte la corde et on remplace la sonde par un outil de curage. Le mouvement est analogue à celui du mouton à sonnette pour le fonçage des pieux. Ce procédé est employé aux Etats-Unis. En Russie,

au contraire, on se sert de *tiges rigides* animées d'un mouvement de rotation ou de percussion, suivant que l'outil de forage doit agir comme une vrille ou comme un pic.

Quel que soit le système employé, la corde ou les tiges sont suspendues au-dessus du sol par des échafaudages en bois nommés *dérik* (fig. 16).

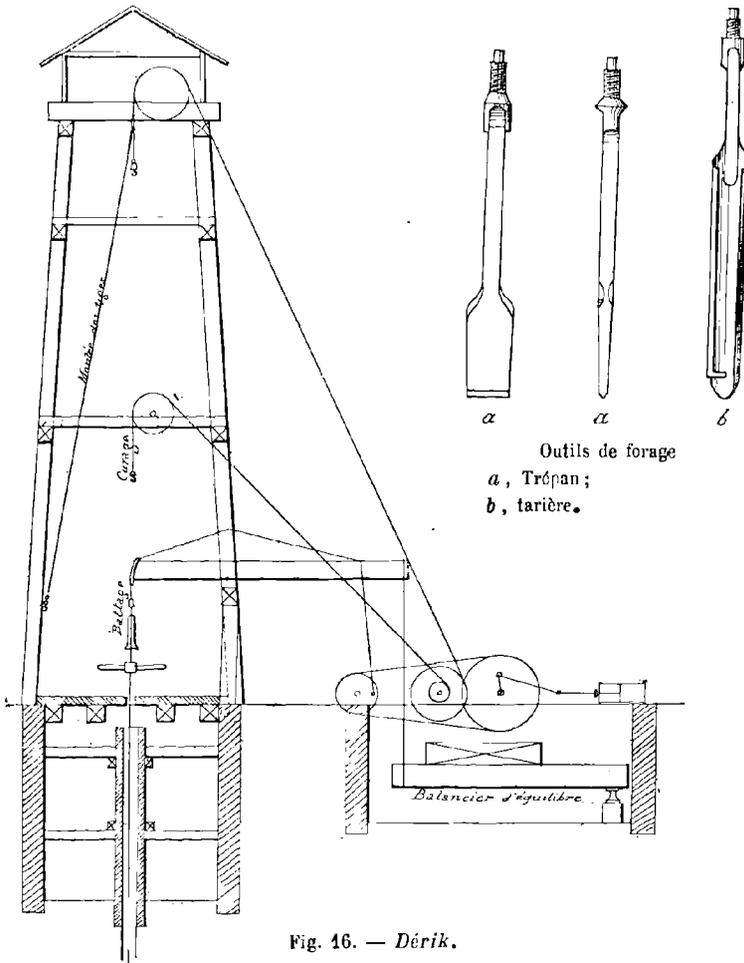


Fig. 16. — Dérik.

Bien souvent, pour simplifier le sondage, on disloque la roche au moyen de cartouches de dynamite ou torpedos du colonel Robert (1862). Des tubes remplis de nitroglycérine, sont placés le long du canal de sondage; au moyen d'un poids, qu'on laisse tomber de haut, on produit

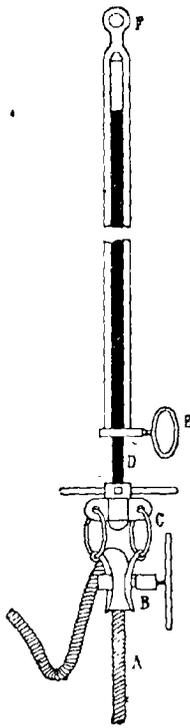
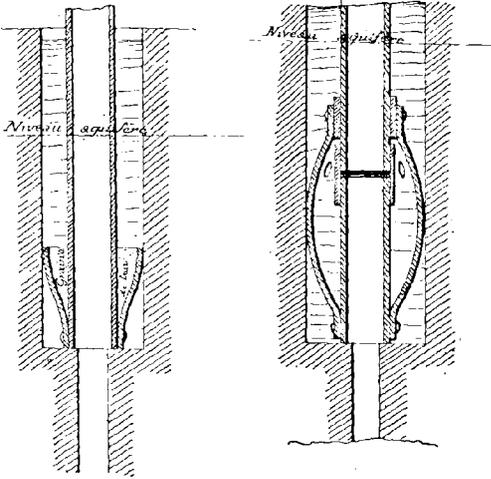
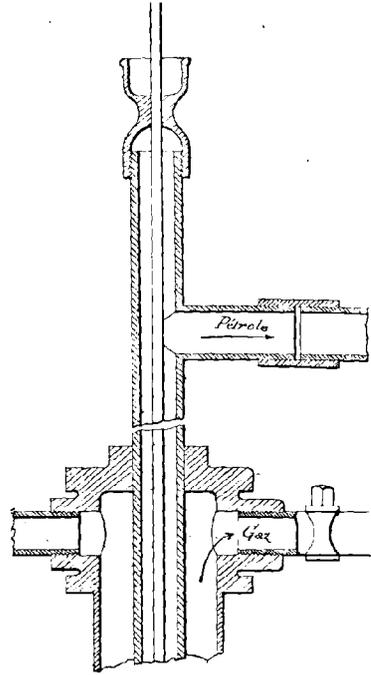


Fig. 17. — Mode d'attache des cordes.



Joint à la graine de lin.

Joint en cuir.

Fig. 18. — Tubage.

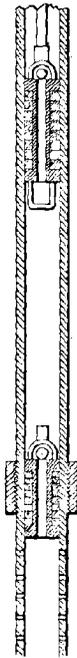


Fig. 19. — Pompe élévatrice.

l'explosion. Il suffit ensuite de nettoyer l'excavation et de donner quelques coups de sonde pour atteindre la masse liquide.

Ce système a un inconvénient grave, il épuise trop rapidement les gisements qu'on ne peut maîtriser et dont les produits s'échappent d'un seul coup.

Le diamètre des puits varie de 1<sup>m</sup>,50 à 2 mètres à la surface du sol, puis il va en se rétrécissant pour finir à la nappe liquide par un diamètre de quelques centimètres seulement. Leur profondeur moyenne varie de 300 à 600 mètres. En général, leur fonçage ne se fait pas sans difficulté ; quelquefois, au lieu d'une roche dure et résistante, on rencontre des couches de sable ; il faut alors procéder au tubage du puits, c'est-à-dire à la mise en place de tubes métalliques, destinés à maintenir ces parois mouvantes.

Le tubage sert également lorsqu'on rencontre une nappe liquide. Comme il est très onéreux, on tâche de le réduire le plus possible. Au point de séparation de la nappe aqueuse et de la roche solide, on termine le tubage par un joint à la graine de lin qui forme, en se dilatant dans l'humidité, une fermeture étanche. On peut remplacer le joint à la graine de lin par un joint en cuir fixé dans le bas à la partie inférieure du tubage, et terminé en haut par un manchon mobile. La pression de l'eau appuie le cuir contre le fond et forme joint étanche (fig. 18).

Il semblerait qu'une fois arrivé à la nappe liquide toute l'opération est terminée et que l'on a simplement à recueillir les bénéfices d'un travail long et pénible. Il n'en est pas toujours ainsi.

La nappe liquide peut être emprisonnée sous pression au milieu des roches. A la première issue qui se présente, l'huile se dégage sous forme de gerbe jaillissante atteignant une hauteur considérable. Il faut avoir eu soin de préparer des réservoirs pour recueillir ces produits souvent les plus abondants de toute l'exploitation. On cite le cas de fontaines jaillissantes ayant donné pendant plusieurs jours jusqu'à 2.000 litres à l'heure. Le pétrole, après avoir jailli fort haut, se répand dans toutes les dépressions environnantes, devenant à cause de sa grande inflammabilité une source de danger pour tout le voisinage. Le spectacle de ces sources est très curieux, le liquide chassé avec une grande violence, entraîne avec lui les roches et tout ce qu'il rencontre pour les projeter à des distances considérables.

Actuellement, on prévient cette perte en emprisonnant le jet sous une calotte spéciale terminée par un robinet ou *Kalpack Bensgton*. La pose

de cette cloche est relativement facile, car ces jets puissants sont annoncés par des grondements sourds.

Parfois le pétrole ne jaillit pas. Il faut alors avoir recours à des pompes pour l'amener à la surface du sol. Le corps de pompe, formé par une série de tuyaux en bronze, ne mesure que quelques centimètres de diamètre 5 à 6 en moyenne. Le piston est constitué par une série de rondelles en cuir. Il porte lui-même une soupape à boulet pour le refoulement. Dans le bas de la pompe se trouve également la soupape d'aspiration. Le puits est fermé à sa partie supérieure par une calotte munie d'un tube de prise de gaz (fig. 19).

Lorsque le diamètre du puits le permet on remplace la pompe d'aspiration par une chaîne à godets ou jelonka. Les godets sont munis à leur partie inférieure d'une soupape pour l'emplissage.

Le mouvement d'ascension et de descente des pompes ou des chaînes leur est donné par une machine à vapeur. Le débit des puits est très variable, quelques-uns se tarissent aussitôt, tandis que d'autres au contraire semblent inépuisables. On cite à Bakou des puits ayant donné 100.000 litres de pétrole en 24 heures et cela pendant 10 ans.

Lorsque la densité du pétrole est par trop élevée pour qu'on puisse songer à l'aspirer directement, on envoie un jet de vapeur qui liquéfie la masse et permet son ascension dans les pompes.

D'une manière générale, les dépôts pétrolifères renferment une certaine quantité de gaz, soit en dissolution dans la masse liquide, soit accumulés au-dessus; ils exercent alors une pression considérable qui produit les sources jaillissantes. Ce gaz est généralement recueilli. Il constitue du reste un excellent combustible, connu plus particulièrement sous le nom de *gaz naturel*, que l'on rencontre en divers points du globe et en particulier en Pensylvanie.

Son emploi aux Etats-Unis remonte à 1874, où il fut utilisé pour la première fois à l'éclairage de la ville de Fredonia. Il sert plus particulièrement au chauffage des hauts-fourneaux, et la ville de Pittsburg en consomme annuellement des millions de mètres cubes. Son bon marché excessif permet d'en faire une large consommation, toutefois la production diminue et l'on peut prévoir son épuisement complet dans un avenir assez rapproché.

L'huile minérale à sa sortie du puits est recueillie dans des bacs en tôle jaugés permettant de fixer le débit de la veine liquide. C'est là que se déposent également les matières entraînées mécaniquement.

**Transport du pétrole.**— Au début, ces bacs étaient transportés sur des chariots jusqu'aux raffineries voisines, mais ce moyen onéreux a été remplacé avantageusement par une canalisation en fer ou *pipes-lignes* amenant le liquide de tous les points de production dans un réservoir central d'une contenance considérable. Ce dépôt se trouve généralement dans le voisinage des stations de chemin de fer ou des ports d'embarquement. Mais, lorsqu'ils sont par trop éloignés, on installe un nouveau réseau de *pipes lignes* souvent d'une très grande longueur. Celle de l'Oil Creek, en Pensylvanie, mesure 560 kilomètres, les tuyaux en fer ont un diamètre de 13 centimètres ; le prix d'installation de cette canalisation s'est élevé à 13 millions.

Les divers ports d'embarquement du pétrole brut sont ceux de New-York et de Buffalo.

En Russie, le centre de production est à Bakou ; le pétrole peut être transporté à la mer Caspienne ou à la mer Noire. Dans le premier cas une canalisation de 12 kilomètres le conduit jusqu'au port d'embarquement où il est emmagasiné dans des navires citernes qui remontent le Volga jusqu'à Tsaritsine, entrepôt du commerce intérieur des pétroles russes.

Le navire citerne a sa cale divisée en trois parties séparées par des cloisons longitudinales de manière à l'empêcher de chavirer lorsqu'il se trouve fortement secoué.

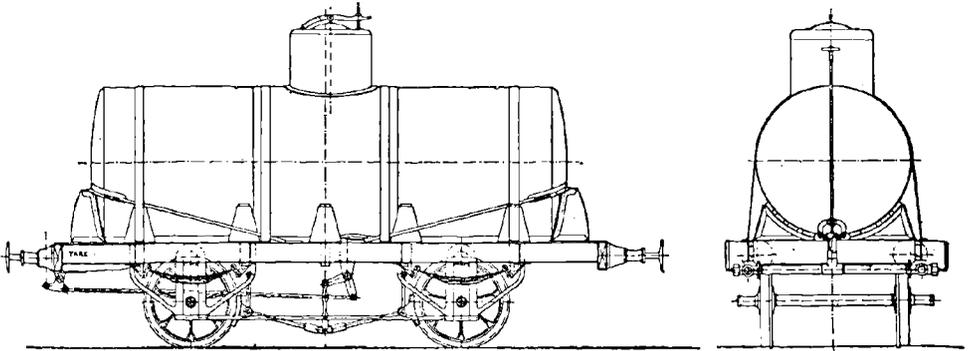


Fig. 20. — Transport de l'huile minérale dans les wagons-citernes.

Au contraire, quand le pétrole est dirigé sur la mer Noire, il arrive au port de Batoum, transporté dans des wagons citernes circulant sur le chemin de fer du Caucase. Ces wagons sont formés par des réservoirs cylindriques en tôle montés sur une plate-forme ordinaire et pouvant contenir 7 à 8 tonnes de pétrole. Ils sont analogues à ceux employés en

France pour le transport des alcools et des goudrons (fig. 20). Pour éviter ce transport par la voie ferrée dont le débit est insuffisant bien que le nombre des wagons soit de 3.633, on a proposé de construire le long du Caucase une canalisation de plus de 1.000 kilomètres pouvant débiter près d'un million de mètres cubes de liquide par an. Cette canalisation déjà commencée, permettrait d'éviter les manipulations toujours dangereuses de l'huile minérale.

Le pétrole ne s'emmagasine pas facilement; il n'est pas possible de se servir de tonneaux en bois, car il fuit au travers; avec des bidons métalliques, cet inconvénient disparaît, mais ce procédé ne convient que pour les petites quantités. Quelle que soit la nature du récipient, il faut avoir soin de ménager toujours un vide pour la dilatation.

Pour éviter ces inconvénients on a proposé de le mélanger avec l'extrait de saponaire de manière à obtenir un corps solide, il suffirait d'ajouter ensuite une petite quantité d'acide pour détruire le mélange. Ce moyen aurait en outre l'avantage de diminuer les risques d'incendie qui sont toujours à craindre avec ce liquide dangereux. Il suffit de se rappeler l'incendie du port de Bordeaux et celui plus récent du port d'Anvers. Cependant, depuis les mesures préventives qui consistent à isoler les quais à pétrole dans les gares et dans les ports, les sinistres sont devenus beaucoup plus rares. De plus, les gouvernements des différents pays ont réglementé l'industrie du pétrole, et les industriels ou commerçants ont divers moyens de connaître son degré d'inflammabilité.

Le pétrole à sa sortie du sol, ne peut être employé directement, il faut lui faire subir toute une préparation. A ce sujet, il est intéressant de connaître à la fois ses origines et sa composition.

**Origines, composition.** — Suivant les uns, il serait le résultat de la décomposition d'animaux ou de végétaux de l'époque de la houille. Cette hypothèse est justifiée par la présence d'eau salée dans les sources pétrolifères. Mais, des expériences récentes viennent la démentir: il ne se forme jamais de pétrole dans la décomposition d'une substance organique quelconque, de plus ce liquide détruit tous les ferments et rend les corps imputrescibles.

Sa ressemblance avec les huiles extraites de la houille et les divers centres de production pouvaient faire supposer que son origine était identique. Il proviendrait de la distillation de la houille sous l'action du feu central. Les sources jaillissantes et communiquant entre elles vien-

draient à l'appui de cette théorie. Malheureusement, elle n'explique nullement les dépôts antérieurs au terrain houiller.

La troisième hypothèse, qui est la plus récente, se trouve confirmée par l'existence des sources à grand débit permanent. Elle est basée sur une série de réactions chimiques. On admet, que les carbures métalliques sont décomposés par la vapeur d'eau, et donnent les hydrogènes carburés de l'huile minérale et des oxydes métalliques.

Par l'analyse chimique on a pu isoler tous les carbures et les étudier séparément. Le mélange constitue un liquide onctueux au toucher, d'odeur forte et désagréable, de couleur jaunâtre par transparence, verdâtre par réflexion.

Ils sont tous combustibles et brûlent avec une flamme éclairante plus ou moins fuligineuse. Leur vapeur mélangée à l'air détonne au contact d'un corps en combustion. Analogues par leurs propriétés chimiques, ils diffèrent par leurs caractères physiques.

1<sup>o</sup> Le *poinds spécifique* ou *densité* est très différent, on y rencontre toute la série des carbures depuis le plus lourd jusqu'au plus léger : le gresou et le bitume ;

2<sup>o</sup> La *volatilité* ou propriété de passer à l'état de vapeur est également très variable, elle est fonction de la densité et suit la même progression.

3<sup>o</sup> L'*inflammabilité* ou faculté de prendre feu au contact d'un corps incandescent, n'est pas la même pour tous les carbures. Quelques-uns s'enflamment directement, d'autres, au contraire, doivent être soumis à un chauffage préalable.

Les propriétés différentes des carbures isolés expliquent celles du pétrole brut. Comme eux, il brûle facilement avec une flamme éclairante, mais fuligineuse. Sa densité, au sortir du puits, varie un peu avec son origine ; les pétroles d'Amérique pèsent 0,850, ceux de Russie beaucoup plus lourds atteignent 0,870. Sa composition en centièmes est de

85 à 87,4 de carbone  
15 à 12,5 d'hydrogène  
0,1 d'oxygène.

L'huile minérale dissout les corps gras, le caoutchouc ; un grand nombre de ses dérivés sont du reste employés à cet usage. Mélangée avec l'eau, elle surnage. Aussi, chaque fois que par mégarde elle prend feu, il ne faut pas essayer d'éteindre la flamme avec ce liquide, c'est un

moyen de propager l'incendie ; on doit arrêter la combustion en la privant d'air soit au moyen d'un chiffon humide, ou mieux encore avec un corps incombustible comme le sable, les cendres, etc.

**Raffinage.** — On utilise les diverses propriétés précédentes pour raffiner le pétrole. Cette opération a pour but de classer les carbures en divers groupes d'un emploi très différent. Ce résultat est obtenu avec un petit nombre de procédés chimiques et physiques.

Parmi les moyens physiques, la distillation est le plus important. Cette opération très simple, basée sur le degré de volatilité différent des carbures, demande une grande attention pour obtenir des produits purs.

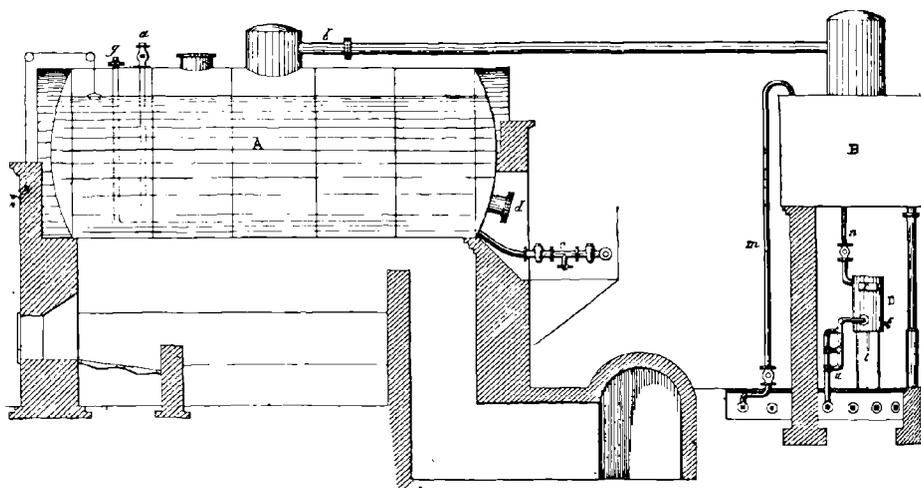


Fig. 21. — Distillation du pétrole brut.

A, Chaudière. — a, Arrivée de l'huile minérale. — b, Sortie des produits distillés. — c, Sortie de l'huile lourde. — d, trou de vidange. — B, Condensateur. — m, Arrivée de l'eau froide. — n, Sortie des produits condensés. — D, Chambre de réception. — s, Prises d'échantillons. — r, Glace. — t, Robinet de vidange. — u, Robinetterie pour le classement des huiles condensées. — g, Tuyau de vapeur pour le nettoyage de la chaudière.

L'huile minérale est versée dans des chaudières horizontales ou verticales d'une contenance moyenne de 30 mètres cubes ; on ne les remplit qu'aux trois quarts. Les chaudières chauffées à feu nu ou à la vapeur sont montées par batterie de trois ou quatre, de manière à rendre la distillation continue, tout en diminuant les pertes de chaleur. Le fond de la chaudière est en fonte atteignant près de 40 centimètres d'épaisseur (fig. 21).

Les premiers produits qui distillent, sont formés de gaz non liquéfiables à la température ordinaire, on les laisse perdre le plus souvent. Quelquefois cependant ils sont recueillis dans des gazomètres et servent comme le gaz ordinaire à l'éclairage de l'usine ou au chauffage des chaudières. Les produits qui viennent ensuite, et qui constituent le *naphle* ou *essence de pétrole*, sont obtenus par condensation dans un serpentin placé à la suite de la chaudière. Ce serpentin formé par des tuyaux en fonte d'assez fort diamètre, est contenu dans un réservoir plein d'eau constamment renouvelée. A sa sortie du serpentin, le liquide tombe dans un récipient en fonte formant la chambre de réception et muni sur le côté d'une glace qui permet de voir ce qui se passe à l'intérieur. Un robinet latéral sert à prendre de temps à autre des échantillons. L'essence de pétrole qui distille jusqu'à 150°, est un liquide de couleur jaunâtre d'une densité variant de 0,707 à 0,709 ; elle s'enflamme avec une très grande facilité, car elle renferme les carbures les plus légers de l'huile minérale.

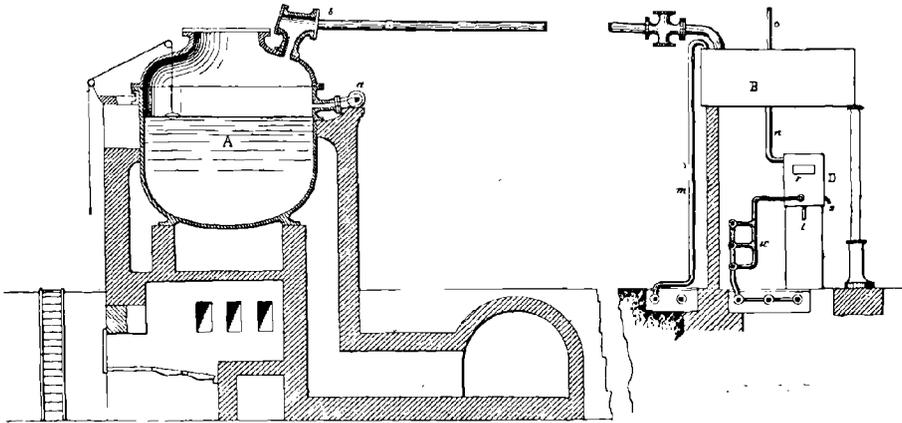


Fig. 22. — *Black pot.*

A, Chaudière. — *a*, Arrivée des huiles lourdes. — *b*, Sortie des produits distillés. — B, Condensateur. — *o*, Sortie des produits gazeux. — *m*, Eau de condensation. — *n*, Sortie des produits condensés. — D, Chambre de réception. — *s*, Prises d'échantillons. — *r*, Glace. — *t*, Robinet de vidange. — *u*, Robinetterie pour le classement des huiles condensées.

Le plus souvent l'essence est livrée directement au commerce. D'autres fois, pour en retirer des produits spéciaux on la soumet à une nouvelle distillation fractionnée.

Lorsqu'à travers la glace de la chambre, on voit la veine liquide changer de couleur et devenir blanche, c'est que le *pétrole* proprement dit commence à distiller. Ce produit, le plus important de toute l'opération, forme les 40 à 70 0/0 de la masse totale en traitement. De temps à autre,

on prend un échantillon et on le pèse, la densité qui est de 0,710 au commencement, atteint 0,840 à la fin. Le mélange de ces divers liquides donnera du pétrole à 0,810. Lorsque la densité dans la chambre atteint 0,840, on arrête généralement l'opération ; la matière qui reste dans la chaudière est alors formée en majeure partie d'*huiles* lourdes ou *goudrons*.

Au moyen d'un robinet de vidange, on fait écouler d'un seul coup ces huiles lourdes dans une chaudière spéciale, ou *black pott*, en contrebas de la première (fig. 22).

D'une contenance moindre que les précédentes, le *black pott* sert à une nouvelle distillation qui sera poussée jusqu'au bout, aussi le fond de cette chaudière en fonte atteint une épaisseur considérable. Le liquide obtenu par condensation dans un serpentín est composé d'*huiles* lourdes qui le plus souvent sont mélangées au pétrole brut pour être redistillées à nouveau. Lorsqu'au contraire elles sont traitées séparément, on en extrait des produits intéressants comme des huiles lubrifiantes pour le graissage des pièces mécaniques, de la paraffine, de la vaseline.

Au fond du *black pott*, il reste un coke boursouffé très spongieux et d'un noir brillant qui constitue un excellent combustible.

En résumé, la distillation de l'huile minérale a donné trois produits principaux :

- l'essence minérale, densité 0.709 ;
- le pétrole ou huile lampante, densité 0.810 ;
- les huiles lourdes, densité de 0.810 à 0.840.

Chacun de ces produits n'est pas pur, il est formé par un mélange de carbures qu'il serait assez facile d'isoler.

**Dérivés de l'huile minérale.** — ESSENCE. — L'essence de pétrole peut être livrée directement au commerce, elle sert alors tout particulièrement à l'éclairage. C'est un liquide très inflammable, émettant des vapeurs à la température ordinaire. Sa manipulation très délicate doit être faite pendant le jour à l'abri de tout corps incandescent. Elle est contenue ordinairement dans des bidons en tôle.

Lorsqu'au contraire, l'essence est soumise à une nouvelle distillation, elle donne un produit très léger de densité 0,650 connu dans le commerce sous le nom de *gasoline*, employé spécialement à la fabrication du gaz d'air ou à la carburation du gaz de houille. Ce liquide est encore plus dangereux que le précédent, car il peut donner lieu à des mélanges

explosifs. Le résidu de la distillation de l'essence est une huile plus lourde utilisée dans la fabrication des tissus en caoutchouc.

La pureté de l'essence se reconnaît à sa grande volatilité, une tache faite sur du papier blanc doit se vaporiser rapidement sans laisser aucune trace.

**PÉTROLE.** — Le pétrole, à l'inverse de l'essence, ne saurait être employé directement. Enflammé, il dégagerait une odeur forte et désagréable, de plus la flamme serait très fumeuse. Aussi lui fait-on subir une épuration chimique qui le purifie complètement.

Le nombre des réactifs est assez restreint; on emploie l'acide sulfurique et la soude. Le premier a pour but de décomposer les carbures trop riches en carbone et d'augmenter par ce fait même la teneur en hydrogène. La flamme est alors plus brillante, plus claire et sans odeur. La soude intervient pour saturer l'acide en excès, et détruire les composés oxygénés, qui ont pu se former pendant la décarburation.

Ces opérations successives ont lieu sur de très grandes masses. Pour faciliter les réactions, il est nécessaire de soumettre le mélange à une agitation continue pendant toute l'opération. Le pétrole est versé dans de grands réservoirs doublés de plomb, l'acide et la soude sont ajoutées successivement. Les réservoirs sont disposés horizontalement ou verticalement, dans le premier cas, les agitateurs sont formés par une série de bras placés sur un arbre horizontal animé d'un mouvement de rotation. Avec les réservoirs verticaux, l'agitation est obtenue au moyen de l'air comprimé. Dans le fond, on dispose une tuyauterie percée de nombreux orifices par où s'échappe l'air envoyé par une machine soufflante. En traversant la masse liquide, cet air renouvelle sans cesse les surfaces en contact et entraîne avec lui les gaz de la réaction (fig. 23).

Dans bien des cas cette aération est insuffisante, le pétrole visqueux retient avec une extrême facilité les carbures volatils que la distillation aurait dû lui enlever. Il est nécessaire de l'en débarrasser complètement pour le rendre inoffensif. On y arrive facilement en le débitant en jets très minces qui le mettent au contact de l'air.

Le pétrole épuré est alors recueilli dans de grands réservoirs en tôle, d'où on l'extrait suivant les besoins pour le livrer au commerce dans des fûts en bois. Il est alors très clair, d'une couleur blanche tirant un peu sur le jaune ou le vert. Son odeur est moins forte que celle du pétrole brut et sa densité est voisine de 0.810. Dans ces conditions il contient

environ 80 % d'huile propre à l'éclairage. Il s'enflamme difficilement, une allumette plongée dans ce liquide doit s'éteindre aussitôt. Comme le pétrole du commerce est souvent mélangé à de l'essence, il y a in-

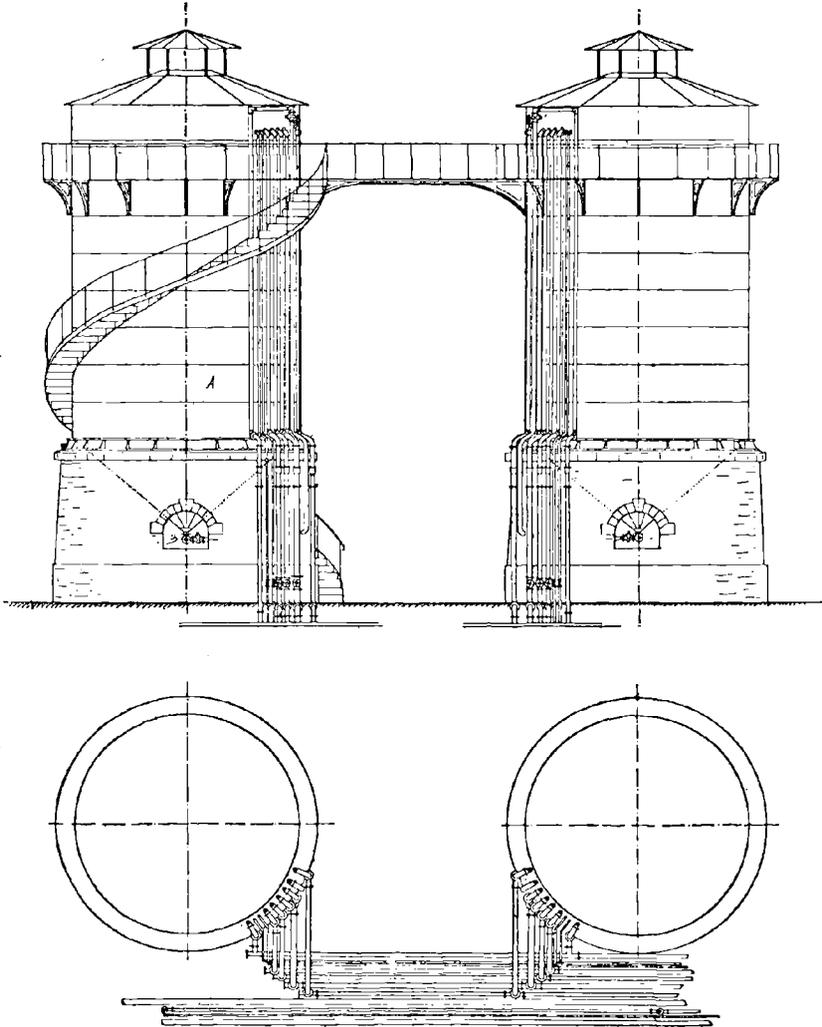


Fig. 23. — Épuration chimique.

térêt à s'assurer du degré d'inflammabilité, c'est-à-dire à connaître à quelle température la vapeur émise par ce liquide prend feu. Des appareils spéciaux désignés sous le nom de *naphtomètres* permettent de déterminer cette température. Il y en a un certain nombre basés sur deux

principes différents : Le premier, dont l'application a été faite aux naph-tomètres de MM. Urbain et Salleron, consiste à réduire le pétrole en va-peur. On détermine en même temps et la pression et la température de cette vapeur, un tableau dressé à l'avance avec un pétrole type permet d'établir la comparaison.

Leur appareil se compose d'une petite chaudière hermétiquement fermée par un disque percé de trous recevant : un manomètre de 30 à 35 centimètres de haut, un thermomètre, un tube ou insufflateur d'air muni d'un robinet de réglage, et enfin une pièce mobile creuse percée également d'une ouverture qui permet de la faire communiquer avec la chaudière. Pour faire un essai avec cet appareil, on commence par remplir la chaudière de 30 centimètres cubes d'eau, puis par l'insuffla-teur on augmente la pression jusqu'à ce que l'eau atteigne le zéro du manomètre, à ce moment on remplit de pétrole la cavité du réservoir mobile et on le fait tomber dans la chaudière. La tension de la vapeur se manifeste par l'élévation du niveau dans le manomètre, on note celle-ci, ainsi que le degré de températnre, et l'on compare les chiffres obtenus à ceux du tableau dressé à l'avance.

Dans le deuxième principe, sur lequel sont basés les naph-tomètres Tagliabue et Garnier, on chauffe le liquide au bain-marie, et l'on voit à quelle température la vapeur du pétrole prend feu au contact d'une petite lampe à alcool.

Un cylindre métallique en laiton sert de support au réservoir contenant l'eau du bain-marie ; il est ouvert latéralement pour le pas-sage d'une première lampe à alcool destinée au chauffage du bain. Le vase plongeant dans le bain-marie est percé de deux ouvertures ; l'une pour le passage du thermomètre, l'autre fermée par un petit couvercle sert à la sortie de la vapeur de pétrole. Au-dessus, on dispose une pe-tite lampe à alcool à mèche horizontale. Pour faire un essai, on remplit complètement le récipient de pétrole, et l'on s'assure d'abord que le liquide ne s'enflamme pas directement au contact d'une allumette, ce qui indiquerait la présence de carbures légers et dangereux. Dans le cas contraire, on chauffe l'eau du bain-marie et on allume la mèche de la petite lampe à alcool, au moment où il se produit une petite explo-sion qui éteint la lampe, on note la température : c'est le point *d'inflam-mabilité* du pétrole essayé. En chauffant davantage, et en notant le degré où l'huile brûle constamment, on a le point *d'ignition* différent du pré-cédent. Cet appareil fort simple, est plus employé que le premier.

Un décret du 19 mai 1873, a divisé en France, les hydrocarbures liquides en deux catégories, suivant qu'ils s'enflamment au-dessus ou au-dessous de 35° ; la dernière catégorie est considérée comme dangereuse. En Amérique, on admet la température de 37°,5.

Les pétroles de bonne qualité ne s'enflamment jamais au-dessous de 40 degrés. Les pétroles russes vont au-dessus et atteignent 70°. On complète en général ce renseignement par des indications tournées par quelques réactifs, mais ces opérations délicates sont alors du domaine de l'analyse chimique. Le pétrole ou huile lampante est à peu près employé exclusivement à l'éclairage et tous les produits apparus dans ces dernières années sous le nom de *luciline*, *d'oriflamme*, *d'électricine*, ne sont autres que du pétrole raffiné avec beaucoup de soin. La différence d'une de ces matières à l'autre est très petite, et l'odeur des produits de la combustion est presque insensible. De ce côté, les progrès ont été considérables et on ne saurait, comme autrefois, reprocher au pétrole sa mauvaise odeur.

**HUILES LOURDES.** — Quant aux huiles lourdes, qui ne sont pas employées directement à l'éclairage, on les soumet dans des usines spéciales à de nombreux traitements, elles donnent alors les huiles lubrifiantes pour le graissage des machines, la paraffine servant à la fabrication de bougies spéciales ou d'isolants électriques, et enfin la vaseline si recherchée en pharmacie.

Lorsqu'au contraire, elles doivent servir à l'éclairage, elles ne subissent aucune préparation, on se contente de les mélanger aux huiles minérales provenant de la distillation de la houille. Versées dans des réservoirs elles se classent par ordre de densité.

L'éclairage aux huiles lourdes devant être avant tout économique, on s'explique l'absence de tout traitement de la matière première.

D'après cet aperçu sommaire, on peut voir que l'huile minérale sans emploi pendant si longtemps, est aujourd'hui la source d'une foule de produits extrêmement différents, dont les usages multiples ont fait de cette matière une des plus précieuses de l'industrie.

---

## II. — Éclairage aux huiles légères.

---

Dans l'éclairage aux huiles minérales les appareils sont très différents suivant la nature du liquide employé. Il est bien évident que la même lampe ne saurait servir indifféremment à l'essence ou aux huiles lourdes. Dans le premier cas, la volatilité dispense de tout mécanisme, dans l'autre au contraire, il est nécessaire de faire intervenir une force extérieure pour produire l'ascension du liquide.

On désigne plus spécialement sous le nom d'éclairage aux huiles légères, celui qu'on obtient avec l'essence minérale ou avec d'autres hydrocarbures très légers. L'emploi de ces derniers comme source lumineuse, est bien antérieur à celui du pétrole. Vers 1832, Robert, en France, préconisait les mélanges d'alcools et d'essences pour obtenir un bel éclairage. Un peu plus tard, en 1836, Anderson, en Angleterre, avait imaginé de faire barboter un courant d'air à travers des essences légères pour le charger de carbures volatils pouvant brûler comme le gaz ordinaire. Enfin en 1855, Chamberlin, en Amérique, parvint à utiliser directement l'essence de pétrole. Ces trois dates marquent, en quelque sorte, le point de départ de trois sources lumineuses dont le succès a été bien différent.

**Gaz liquide.** — Les alcools étant relativement peu riches en carbone et certaines essences renfermant au contraire ce corps en grande quantité, il était tout naturel de supposer que le mélange donnerait un composé capable de fournir une belle lumière. Cet éclairage était connu sous le nom de *gaz liquide* ou *hydrogène liquide*.

L'appareil imaginé pour brûler ce combustible était très simple. Il était formé par un réservoir dans lequel plongeait une mèche pleine en coton non tressée et entourée par un tube en laiton. C'était en somme la lampe à alcool ordinaire employée au chauffage. Une cheminée en verre, renflée à la base, complétait l'appareil et servait à donner de la fixité à la flamme. L'ascension du liquide se faisait par capillarité, mais

il était nécessaire d'amorcer le brûleur en le chauffant au préalable pour volatiliser l'essence.

La qualité de la lampe résidait surtout dans la nature du liquide différent avec chaque constructeur. Dans la composition de ces alcoolats, il entraînait le plus souvent de l'alcool de bois et de l'essence de térébenthine ; c'est de ce mélange, que M. Robert s'était fait une spécialité. Il avait apporté en outre, plusieurs améliorations au brûleur précédent. Grâce à un dispositif spécial, on pouvait, sans déranger la cheminée, éteindre la lampe, et régler la flamme à volonté. De 1843 à 1848, ces lampes eurent un véritable succès comme éclairage d'intérieur. Mais la mauvaise odeur que dégageaient les produits de la combustion et le mélange lui-même, l'emploi d'un liquide spécial qui donnait au fabricant une sorte de monopole, sont autant de causes qui les ont fait abandonner. Dans l'espèce, il ne subsiste guère que la lampe de M. Herbst à Altona, dans laquelle on brûle un mélange d'huile de navette et de pétrole dont la lumière est très claire et l'odeur assez faible. Cette lampe est à peu près inconnue en France.

**Carburateurs, lampe Azur.** — Le système d'éclairage à essence, qui consiste à faire barboter un courant d'air dans ce liquide, est au contraire plus répandu : c'est le principe du gaz à l'air. Il faut pour le préparer une véritable usine avec canalisation spéciale pour l'envoyer aux brûleurs. Les appareils destinés à cette fabrication sont désignés sous le nom de *carburateurs*, ils sont décrits dans la partie qui traite du gaz à l'air.

Cependant, dans ces dernières années, on est arrivé à réduire cette usine à des proportions minuscules, et à avoir sur un même appareil, du volume d'une lampe ordinaire, la fabrication et l'utilisation du gaz. Ce résultat est obtenu dans la lampe Azur.

Dans un récipient contenant l'essence, plongent deux mèches pleines, enfermées chacune dans un tube en laiton. Les mèches s'élèvent à mi-hauteur dans les tubes qui se soudent un peu au-dessus du réservoir. La partie commune se termine par un petit ajutage. L'essence étant très volatile, si on chauffe le tube commun, la vapeur s'échappera de l'ajutage entraînant avec elle une certaine quantité d'air. Le mélange se rend dans un bec de gaz ordinaire à trous, surmonté d'une cheminée en verre. Pour chauffer l'essence, on place au-dessous de l'ajutage une petite veilleuse alimentée directement par le liquide du réservoir. Une

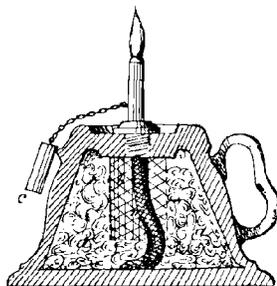
barrette permet de donner à la veilleuse plus ou moins de flamme et par suite de régler l'évaporation de l'essence. La mèche de la veilleuse étant seule soumise à la combustion a besoin d'être renouvelée.

Pour mettre en marche cette lampe, il suffit d'enflammer la petite veilleuse, en ouvrant une glace située sur la galerie de la lampe. Au bout de deux ou trois minutes, on peut enflammer le gaz qui arrive alors en assez grande abondance. Le pouvoir éclairant de la lampe Azur est de 2 c, 5 pour une consommation de 52 grammes d'essence.

On peut appliquer à cet appareil le principe de la récupération, c'est-à-dire, que l'air admis à la combustion est chauffé au préalable, la consommation descend à 43 grammes pour 2,5 carrels. Le fonctionnement est très satisfaisant, mais l'aspect général de la lampe est lourd. Il ne présente aucun danger, l'emplissage du réservoir doit se faire le jour, au moyen d'un bidon spécial dont l'écoulement s'arrête automatiquement lorsque le récipient est plein.

**Lampes à essence.** — Pendant longtemps, on a supposé qu'il n'y avait que le système précédent capable d'utiliser les essences à l'éclairage, mais on n'a pas tardé à s'apercevoir qu'on pouvait y arriver directement en plongeant simplement une mèche dans l'huile légère dont l'ascension à la flamme se fait par volatilité. Les premiers essais sont dus à Chamberlin (1855), qui employait l'essence de pétrole. Depuis le nombre des brûleurs à essence minérale s'est considérablement augmenté, et parmi les plus importants il convient de citer la lampe Mille et la lampe Pigeon.

La lampe *Mille* comporte un réservoir garni intérieurement d'une matière spongieuse, comme du feutre, de la pierre ponce. Le bec formé par un cylindre contenant une mèche pleine en coton se visse au-dessus du réservoir. Cette mèche pénètre inférieurement dans une cavité entourée par un treillis métallique, empêchant le feu de se communiquer de la mèche à la substance imbibée d'essence. On verse le liquide dans le réservoir, les vapeurs qu'il émet s'élèvent et sont enflammées directement au-dessus du bec (fig. 24).



La lampe *Pigeon*, en cuivre repoussé, est basée sur le même principe

et ne diffère pas sensiblement de la précédente, la matière spongieuse est formée par du feutre ; la mèche pleine est enfermée dans un tube en laiton, qui remplace le treillis métallique de la lampe précédente. On a donné à ces appareils toutes sortes de formes. Ils sont surtout employés comme éclairage portatif. Seulement il faut avoir soin de se servir d'essence de pétrole à l'exclusion de tout autre liquide. L'essence pure se reconnaît à ce qu'elle ne laisse pas de tache sur le papier blanc. Grâce à la matière spongieuse, ils sont inoffensifs, on peut les renverser sans que le liquide puisse se répandre. La mèche sert simplement de conducteur aux vapeurs, aussi son usure est-elle insignifiante, et ne nécessite son remplacement que de loin en loin. Le grand succès des lampes à essence est dû à leur prix d'achat très minime, aussi leur emploi est universellement répandu. L'essence étant très inflammable, l'emplissage du réservoir doit se faire pendant le jour, avec beaucoup de précaution et loin de tout foyer. Il faut avoir soin, en outre, de recouvrir le bec d'un capuchon lorsque la lampe ne fonctionne plus ; l'essence étant très volatile, la consommation serait presque aussi grande pendant l'arrêt que dans la marche. La flamme obtenue est très faible une à deux bougies, elle ne résiste pas au moindre courant d'air.

On donne à la lampe à essence une forme assez originale se rapprochant beaucoup de l'applique à gaz ordinaire. Un réservoir formé par un cylindre horizontal aplati et contenant une substance spongieuse est muni vers le milieu d'un tube recourbé fermé à son extrémité par un disque plein. Tout près de ce disque et sur le tube lui-même est percée une série de trous par où s'échappe l'essence. Une mèche fortement comprimée remplit le tube. L'introduction du liquide se fait par une ouverture placée dans le haut du réservoir et fermée par un bouchon à vis. Le réservoir se trouve ainsi complètement bouché. Pour mettre l'appareil en marche, il est nécessaire de l'amorcer, c'est-à-dire de chauffer l'extrémité du brûleur pour vaporiser l'essence. Les trous, mesurant un dixième de millimètre, laissent échapper autant de dards dont l'ensemble constitue la flamme. Cette dernière est entourée généralement d'un globe en verre qui la protège contre les coups de vent. La lumière obtenue est assez faible et manque de fixité. La durée d'éclairage de ces divers appareils est de 12 à 15 heures.

**Lampe phare.** — On a essayé également d'obtenir avec l'essence un éclairage de grande intensité. Ce résultat est réalisé dans la *lampe*

*phare*. Elle comporte une série de mèches pleines disposées en cercle. Chaque mèche est enfermée dans un tube en laiton évidé dans la partie plongeant dans le réservoir. Tous les tubes sont solidaires les uns des autres, et une crémaillère permet de les déplacer en même temps. Un disque métallique horizontal, placé au centre même de la flamme, force cette dernière à s'épanouir. Enfin, l'appareil se complète par une cheminée en verre cylindro conique, qui donne à la lumière une très grande fixité. Cette lampe a tous les caractères des lampes à essence, c'est-à-dire usure de mèche insignifiante, mais elle en présente aussi tous les dangers au point de vue de la manipulation et de l'emplissage. L'échauffement du liquide du réservoir est très considérable, aussi, lorsque la lampe fonctionne, elle fait entendre un bruit provenant de l'évaporation rapide de l'essence. La lampe phare est trop délicate et nécessite des réparations fréquentes. De plus, la consommation est trop considérable comme avec toutes les lampes à essence à cheminée.

On ne doit pas demander, du reste, à l'essence de fournir un éclairage intensif. Cette substance convient surtout pour les petites consommations ; les lampes portatives sont très avantageuses et coûtent très bon marché. Dans les autres cas, il vaut mieux recourir au pétrole qui ne présente aucun danger et ne coûte pas plus cher.

---

### III. -- Eclairage au pétrole.

---

Le pétrole et tous les carbures riches nécessitent pour brûler une quantité d'air considérable, et la difficulté de trouver des brûleurs en fournissant en proportion suffisante, explique en partie l'impossibilité où l'on s'est trouvé pendant longtemps d'appliquer l'huile minérale à l'éclairage. Ce n'est qu'après l'apparition du bec Argand, qu'ont été imaginées les premières lampes au pétrole. Ces appareils sont tous caractérisés par leur grande simplicité, ils comportent un réservoir dans lequel plonge une mèche, le pétrole s'élève par capillarité jusqu'au bec où se produit la flamme. En réalité tous les systèmes ne diffèrent entre eux que par la construction de ce bec.

**Lampe à schiste** (fig. 25). — La première lampe à huile minérale

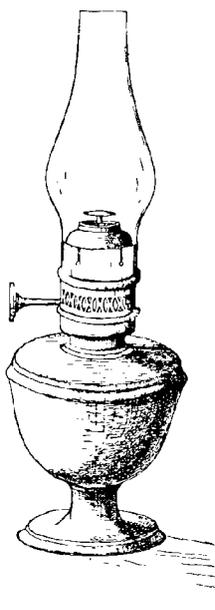


Fig. 25. — Lampe à schiste. grande simplicité qui fera le succès de cette lampe. Toutefois, l'huile de schiste présentait un grave inconvé-

nient, car malgré l'absence totale de fumée, les produits de la combustion dégageaient une odeur désagréable qui a fait abandonner cette matière, dont on se sert encore dans quelques éclairages spéciaux.

**Lampe à bec plat.** — Avec le pétrole d'Amérique, apparaissait en même temps, l'appareil destiné à son utilisation. C'était la lampe à bec plat ou bec américain. La mèche plate, en coton tressé, est enfermée dans une gaine métallique à section rectangulaire qui forme le bec. Deux pignons, mus par une roue à molette, servent à régler sa hauteur

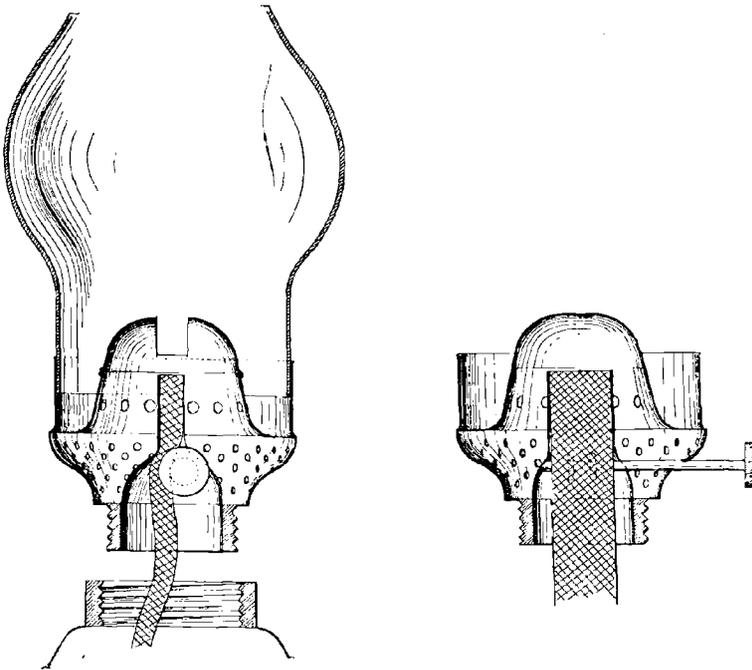


Fig. 26. — Bec plat.

au-dessus du bec. Jusqu'à présent, cette lampe ne présente rien de particulier; c'est l'ancien bec plat à l'huile. Mais la flamme, au lieu de brûler directement dans l'air, débouche dans une capsule métallique qui forme chambre de combustion. Une fente rectangulaire percée sur le dôme de la capsule laisse passer la partie supérieure de la flamme qui a une forme plate assez semblable à celle d'un bec de gaz papillon. La chambre de combustion reçoit l'air par une série de trous percés à la partie inférieure de la capsule (fig. 26).

Ce brûleur n'est autre qu'un bec à double courant d'air de forme spéciale. Le pétrole, en arrivant à la flamme, est volatilisé. Les hydrocarbures gazeux rencontrent l'air admis dans la chambre de combustion, et commencent à brûler en donnant une flamme bleue qui vient lécher les bords de la capsule portée à une température élevée. Ces bords fortement chauffés jouent le même rôle que le disque métallique de la lampe précédente, ils décomposent les carbures qui, à leur sortie, rencontrent le courant d'air extérieur. La combustion étant très complète, il n'y a aucun dégagement de fumée. La capsule joue un grand rôle, et suivant la position que l'on donne à la mèche dans la chambre de combustion, on voit l'allure de la flamme changer dans de grandes proportions. Une cheminée, renflée à la base pour pouvoir résister à l'action des pointes de la flamme, augmente le tirage. Au point de vue de la dépense, cette lampe est assez économique, elle donne 0<sup>c</sup>,75 avec une consommation de pétrole de 20 grammes à l'heure, mais par suite de la forme même de la flamme, le bris des cheminées est assez fréquent. On peut y remédier, en coupant les angles vifs de la mèche, de manière à arrondir la forme de la flamme. Le pétrole ne s'élevant par capillarité qu'à une hauteur relativement faible, le réservoir de ces lampes a une forme très aplatie. Ces appareils, très répandus il y a quelques années, commencent à disparaître pour faire place aux becs ronds.

**Bec Cosmos.** — On a construit des becs ayant à la fois la simplicité de construction du bec plat et les avantages du bec rond : c'est le bec Cosmos ou allemand. Ce bec à double courant d'air est formé par deux troncs de cônes concentriques. La mèche plate, assez épaisse, a une largeur égale à la longueur de la circonférence dans le haut du brûleur, si bien que les extrémités se rejoignent exactement, et que l'ensemble a l'aspect d'un bec rond ordinaire. L'enroulement de la mèche est obtenu au moyen de quatre molettes mues par une clef extérieure. Pour la mettre en place, il suffit de l'engager entre les deux troncs de cône formant le bec, la double molette, qui agit à l'intérieur et en quatre points à la fois, lui donne un mouvement d'ascension ou de descente très régulier. L'admission du courant d'air intérieur est assurée au moyen d'une ouverture triangulaire percée sur les deux parois du bec. La galerie, qui porte la cheminée, fournit l'air nécessaire à la combustion ; un cône métallique dirige le courant extérieur sur la flamme. Quant à

la cheminée, elle ne présente pas de forme spéciale, elle est cylindrique comme dans les cheminées à l'huile, avec un simple coude; le tirage devant être plus actif, elle est un peu plus haute. On peut avec ce système obtenir des intensités variables suivant le diamètre du bec. Le grand

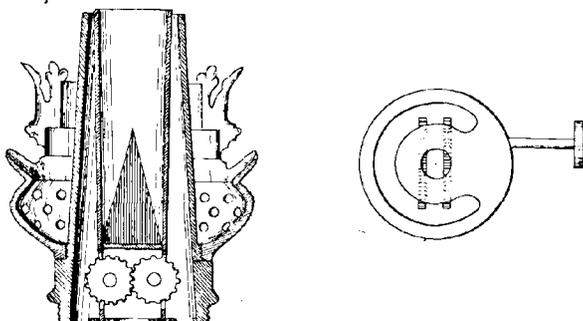


Fig. 27. — Bec rond ou *Cosmos*.

avantage de cette lampe est son bon marché excessif; la valeur du réservoir seul entre souvent pour beaucoup dans le prix total de l'appareil. La majeure partie de ces becs sont fabriqués en Allemagne (fig. 27).

**Lampe Defienne.** — Toutes les lampes précédentes dépassent rarement comme intensité la valeur d'une carcel. Pour obtenir un chiffre beaucoup plus considérable, Defienne avait imaginé une forme de bec tout à fait spéciale. Ce brûleur comportait une série de mèches pleines renfermées dans des tubes métalliques, d'où le nom de bec mitrailleuse donné aussi à cet appareil. Les tubes étaient disposés en couronne; ils étaient solidaires les uns des autres, et pouvaient se déplacer sous l'action d'une crémaillère. L'air arrivait à l'intérieur et à l'extérieur de la couronne comme dans un bec rond ordinaire. Une enveloppe annulaire fixée au porte-verre limitait la section de l'air qui affluait à l'extérieur; enfin un disque horizontal dirigeait le courant sur la flamme. Par suite de la disposition des tubes, la combustion se trouvait forcément activée. La lumière obtenue était très claire et très brillante, mais la complication résultant de l'emploi de plusieurs mèches et son entretien coûteux l'ont empêchée de se généraliser, d'autant plus qu'il existe un certain nombre de lampes intensives plus simples. C'est sur ce même principe qu'a été établie la lampe phare à essence, décrite plus haut.

**Lampe à courant d'air central.** — La majeure partie des

brûleurs intensifs au pétrole est fournie par la lampe à courant d'air central. On désigne plus spécialement sous ce nom des appareils dont le cylindre intérieur du bec rond est prolongé jusqu'au fond du réservoir. La disposition est du reste assez semblable à celle de la lampe solaire à huile végétale. La mèche ronde épaisse se place sur ce cylindre et plonge dans le liquide du réservoir. Le courant d'air externe ne présente rien de particulier, les prises d'air sont ménagées sur la galerie de la cheminée. Cette lampe est due à Maris (1861). Il avait conservé en outre le disque horizontal ou champignon de la lampe à schiste. La construction est très simple, de plus, elle a l'avantage de permettre en quelque sorte le dosage de l'air d'après les dimensions données aux cylindres du bec. Leur emploi rapidement généralisé à l'étranger où elles sont connues plus particulièrement sous le nom de *lampe belge, française, universelle*, etc., a été arrêté un moment en France par suite des droits sur le pétrole, diminués en 1883, puis en 1893. Dans toutes ces lampes, le fond du réservoir ne repose pas directement sur son support, car il boucherait les prises d'air du courant intérieur; il faut donc avoir soin de le maintenir soulevé ou de le suspendre.

On peut brûler avec ces appareils des pétroles lourds.

Une des lampes à courant d'air central, des mieux construites, est celle de M. Besnard, imitée de celle de Maris. Le courant d'air extérieur est dirigé sur la flamme au moyen d'un coude conique. Un disque d'acier horizontal force le courant intérieur à arriver perpendiculairement sur la flamme. Le réservoir de la lampe est supporté par trois petites sphères métalliques. L'appareil se complète par une cheminée en verre cylindrique avec un renflement sphérique près de la flamme, pour lui permettre de résister à la chaleur rayonnante qui est considérable.

Ces lampes peuvent donner quatre carcel avec une consommation de 130 grammes à l'heure, soit 32 grammes par carcel. Il y en a du reste de toutes dimensions.

La maison Besnard fabrique une lampe à courant d'air central dite *lampe solaire*, d'une construction tout à fait originale. Elle est à flamme en-dessous. Dans le réservoir, ayant la forme d'un anneau très aplati, plongent trois mèches qui amènent le liquide au bec placé au dessous du niveau de la face inférieure du réservoir. Il semblerait que les trois mèches dussent faire siphon, et que pendant l'arrêt de l'appareil le liquide se mette à couler. Il n'en est rien; par un phénomène inexplicable, le pétrole n'arrive que pendant le fonctionnement de la lampe.

Pour éviter l'usure et l'ennui du changement des mèches plates, on en emploie une quatrième ronde en contact avec les trois autres. Étant seule exposée à la flamme, elle ne tarde pas à être brûlée, mais son remplacement est très facile. Une cheminée en tôle placée au-dessus du réservoir active le tirage, elle remplace la cheminée en verre, la flamme est entourée d'une coupe en verre destinée à recevoir les égouttures qui pourraient se produire. Les prises d'air sont ménagées sur une galerie placée entre la cheminée et le réservoir, un registre permet d'en régler les ouvertures, et par suite les dimensions de la flamme. Cette lampe est encore trop récente pour juger des résultats, il est certain que sa forme très avantageuse serait appelée à rendre de très grands services, bien qu'on ait toujours à craindre la chute possible de cet appareil, chute qui causerait certainement un incendie avec les pétroles légers inflammables à 40 degrés.

**Bec Brunner à trois mèches.** — Pour conserver le bec à double courant d'air, tout en augmentant la capacité du réservoir par la suppression du tube central, M. Brunner, de Vienne, a imaginé une disposition spéciale. Il emploie une mèche circulaire de faible longueur sur laquelle viennent s'appuyer deux mèches plates qui pénètrent dans le réservoir à pétrole au moyen de deux conduits verticaux laissant entre eux un passage pour le courant d'air intérieur. Une bague métallique assure le contact des trois mèches. Les deux mèches plates, amènent par capillarité, le pétrole à la mèche ronde soumise seule à l'usure. En agissant au moyen d'un pignon sur la mèche ronde on élève plus ou moins la flamme. Au-dessus de cette dernière, se trouve le champignon métallique destiné à augmenter la surface de combustion. Les cheminées employées sont de plusieurs formes suivant l'importance de la flamme: les unes sont cylindriques, les autres présentent un renflement sphérique.

Comme avec toutes les autres lampes intensives, on obtient la carcel avec 32 grammes de pétrole environ.

**Lampe Dittmar à deux mèches.** — Le bec Brunner a été un peu modifié, au lieu d'employer deux mèches plates, M. Dittmar n'en place qu'une qui vient alimenter de pétrole la petite mèche. Le tube contenant la grosse mèche présente une ouverture suffisante pour l'admission du courant d'air intérieur. La petite mèche à tissu plus fin

est maintenue au moyen de griffes comme dans les becs à huile. La cheminée en verre est coudée. Le reste de l'appareil ne présente rien de particulier. La consommation des becs soleil Dittmar est de 65 grammes pour le bec 16 lignes et 96 grammes pour celui de 18 lignes ; le rendement lumineux est le même que précédemment.

L'inconvénient de cette lampe, comme celui de la lampe Brunner, du reste, est sa trop grande complication, bien qu'il ne faille remplacer les mèches qu'à de très longs intervalles.

**Lampe Rochester.** — Le pétrole en brûlant dégage une très grande chaleur qui a pour effet, lorsqu'elle atteint le réservoir, d'augmenter l'évaporation du liquide et par suite la consommation de la lampe. On a cherché à diminuer cet échauffement, en l'utilisant au chauffage préalable de l'air de la combustion. L'idée est excellente, mais ce résultat ne saurait être obtenu qu'avec une grande simplicité, caractère spécial des lampes au pétrole.

Dans la lampe *Rochester*, de New-York, à courant d'air central, le champignon métallique des autres becs a été remplacé par une toile métallique emboutie. Le courant d'air intérieur en passant au travers des trous s'échauffe et refroidit le métal, à un tel point qu'on peut le prendre à la main sans se brûler. La flamme est plus blanche et plus brillante. La galerie, pour le courant d'air extérieur, est formée également par un treillis. Quant à la mèche, elle n'est plus remontée comme dans les autres lampes par un pignon denté, mais par une simple tige; elle est maintenue sur le porte-mèche par un collier en laiton fermé par une agrafe. Le reste de l'appareil ne présente rien de particulier, il est à remarquer que, comme toutes les lampes américaines, elle est construite avec un grand luxe, qui augmente de beaucoup son prix d'achat (fig. 28).

**Lampe Sépulchre.** — La lampe *Sépulchre*, de Liège, antérieure à la précédente, est basée sur le même principe. Le cylindre du courant d'air intérieur est prolongé au-dessus du bec, et la partie qui fait saillie est percée de trous le long des génératrices distribuant l'air chaud sur la flamme. Le mouvement de la mèche est obtenu par un simple pignon. Un cône directeur envoie sur la flamme le courant d'air extérieur. Entre le bec et le réservoir, on a intercalé une chambre intermédiaire diminuant l'échauffement par conductibilité du réservoir. Elle recueille en

outre, les vapeurs émises par le pétrole qui peuvent s'échapper par l'axe du bouton creux. Cette chambre est séparée du bec par un treillis empêchant toute inflammation directe des vapeurs par la flamme. La cheminée présente un renflement au droit de cette dernière.

Cette lampe a été modifiée (fig. 29) par M. Aumenier; le courant d'air intérieur, au lieu de déboucher dans le fond de la lampe, pénètre vers le haut dans un conduit concentrique au premier. Cette disposition a comme avantage de diminuer encore l'échauffement du liquide du réservoir.

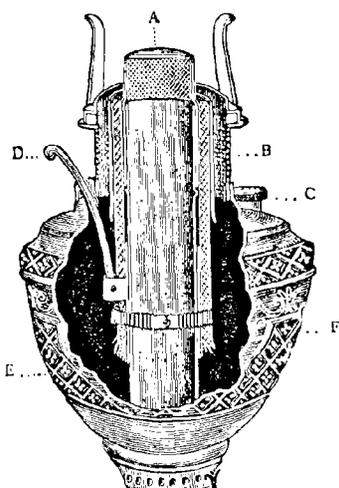


Fig. 28. — Lampe Rochester.

- A, Champignon formé par une toile métallique;
- B, galerie de prise d'air du courant extérieur;
- C, bouchon d'emplissage;
- D, Tige de manœuvre de la mèche;
- F, réservoir.

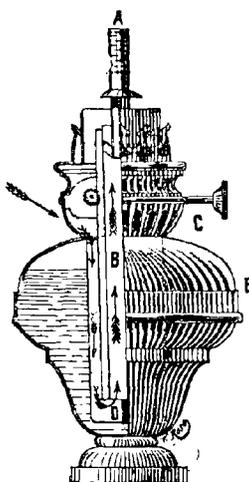


Fig. 29. — Lampe Sépulchre, modifiée.

- A, Champignon en toile métallique perforée;
- B, courant d'air intérieur arrivant du haut de la lampe par le conduit intermédiaire D;
- C, réservoir intermédiaire pour recevoir les vapeurs de pétrole;
- E, réservoir.

Tous ces dispositifs qui ont pour but d'empêcher tout échauffement du réservoir et par suite toute vaporisation exagérée du liquide, sont très simples, mais les résultats obtenus ne sont pas très considérables, car le rendement lumineux est sensiblement le même que celui des appareils précédents, c'est tout au plus si dans la lampe Sépulchre, on obtient la carcel avec 28 grammes de pétrole.

**Lampe Hinks.** — Les becs plats n'ont donné qu'une lampe intensive: c'est la lampe Hinks. Deux becs plats sont placés l'un à côté de l'autre; ils débouchent dans la même capsule percée de deux orifices

pour le passage des flammes. Chaque mèche est mue par un pignon. Les deux pignons peuvent être montés sur le même axe ou sur deux axes différents, mais quel que soit le système, leur mouvement est indépendant. L'ensemble de la lampe ainsi constitué ne présente rien de particulier et son pouvoir éclairant est égal à la somme des pouvoirs éclairants de chaque flamme prise séparément. Mais le caractère principal est la facilité avec laquelle on peut faire l'allumage ou l'extinction sans avoir à déranger la cheminée. Pour l'extinction, chaque mèche est entourée d'une enveloppe mobile, que l'on peut soulever au moyen d'un levier dont le point de rotation se trouve sur la galerie. En agissant extérieurement sur l'extrémité du levier, on soulève simultanément les deux enveloppes qui interceptent l'arrivée de l'air et produisent l'extinction. Le levier est disposé de façon à soulever les deux enveloppes lorsqu'on vient par mégarde à renverser la lampe, on évite ainsi tout risque d'incendie. Pour l'allumage, la capsule et la galerie porte-verre sont montées sur deux tiges pouvant se déplacer verticalement à frottement doux dans le corps du bec. Au moyen d'une clef on imprime un mouvement de rotation à un levier qui soulève la galerie, et laisse un passage pour l'allumage.

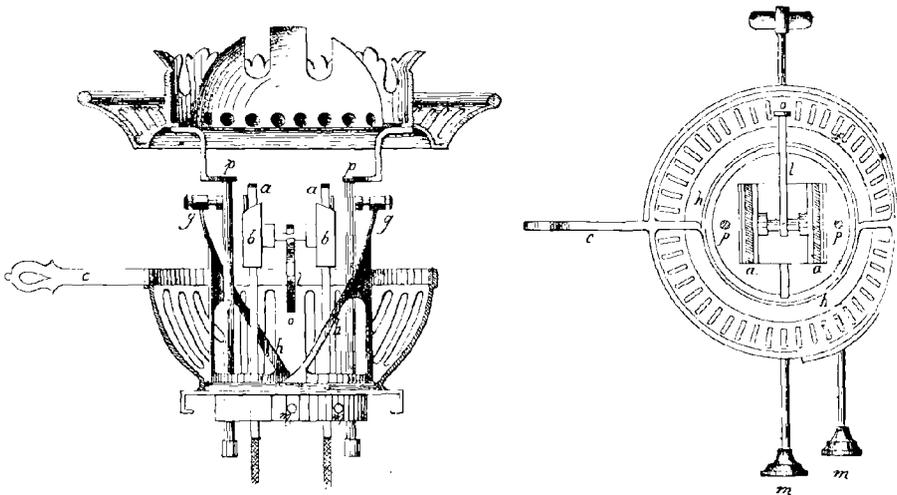


Fig. 30. — Lampe Hinks (modification Messenger).

*a a*, Mèches plates. — *b b*, Obturateurs mus par le levier *l*. — *h h*, Plans inclinés mus par la clef *c* et soulevant, par l'intermédiaire des galets *g g*, les deux tiges mobiles *p p*. — *m m*, Clefs à molette pour la manœuvre des mèches.

Dans le système Messenger, qui est une copie du précédent, le mouvement pour l'allumage est un peu différent. Chaque tige, qui supporte

la capsule et la cheminée est munie d'un galet reposant sur un plan incliné. En imprimant au moyen d'une clef un mouvement de gauche à droite aux deux plans inclinés, on soulève les deux galets et par suite les tiges qui supportent la cheminée. Il suffit, l'allumage terminé de ramener les plans inclinés à leur position primitive pour redescendre tout le système. L'extinction se fait comme dans le système Hinks (fig. 30).

Ce sont ces divers détails qui ont fait le succès de ces lampes construites du reste avec beaucoup de soin, et dont quelques unes atteignent un très grand prix. La forme de la flamme nécessite des verres renflés à la base, quant aux brûleurs, ils n'ont rien de particulier, et l'on obtient la carcel avec une consommation de 36, 4 grammes à l'heure. Une lampe consommant 78 grammes possède donc un pouvoir éclairant de 2<sup>c</sup> 14.

**Lampe mécanique Peignet Changeur.** — Tous les appareils précédents nécessitent des réservoirs renflés par suite de l'impossibilité d'élever par capillarité le pétrole à plus de 30 centimètres de hauteur. On est obligé de les monter sur des pieds, dont la faible dimension contraste toujours avec le volume de la lampe. Pour remédier à cet inconvénient, M. Peignet Changeur a imaginé une lampe mécanique dite automatique, le pétrole est aspiré d'un réservoir principal inférieur au moyen d'une pompe, puis est refoulé jusqu'au réservoir intermédiaire qui contient le mécanisme et dans lequel plonge la mèche. La pompe mue par un mouvement d'horlogerie fonctionne suivant les besoins de l'alimentation. Malheureusement ce perfectionnement amène une certaine complication et enlève à la lampe au pétrole son caractère spécial, c'est-à-dire la simplicité. La lampe Peignet Changeur se déränge assez facilement et son pouvoir éclairant est, du reste, le même que celui des appareils précédents.

**Organes des lampes.** — En résumé, les appareils au pétrole ont fait, dans un très petit nombre d'années des progrès considérables, mais, malgré tous les perfectionnements apportés à la construction des brûleurs, on n'est pas arrivé à réduire la consommation. Le tableau suivant donne quelques chiffres se rapportant au rendement des divers appareils examinés précédemment :

Nature des lampes	Consommation	Intensité lumineuse	Consommation par carcel
Bec plat, 7 lignes. . . . .	25 <sup>g</sup>	0 <sup>c</sup> ,76	33 <sup>g</sup>
Bec rond, 12 lignes . . . . .	33	1 <sup>c</sup> ,00	33
Lampe Besnard 14 lignes . . . . .	76	2 <sup>c</sup> ,54	30,3
— — 24 lignes . . . . .	143	4 <sup>c</sup> ,33	32,9
Lampe Dittmar 18 lignes . . . . .	96	3 <sup>c</sup> ,20	30
Lampe Sépulchre . . . . .	68	2 <sup>c</sup> ,50	28
Hinks à double mèche. . . . .	78	2 <sup>c</sup> ,15	36,4

Comme le montre ce tableau, on ne descend pas au-dessous de 28 grammes pour obtenir la carcel ; du reste, d'un appareil à l'autre, la différence n'est pas très sensible.

Les observations à faire sur les diverses organes des lampes à pétrole sont les mêmes que celles faites déjà sur les appareils à huile.

En ce qui concerne les dimensions du bec, elles dépendent naturellement de l'importance de la lumière que l'on veut obtenir. L'épaisseur du bec doit être proportionnée à celle de la mèche, l'ajustage des deux doit se faire avec beaucoup de soin de manière à ne pas laisser de vide pour la formation des gaz.

Le pétrole étant plus fluide que l'huile végétale, sa puissance capillaire est plus considérable, aussi les mèches sont-elles d'un tissu plus grossier que celui des lampes à l'huile, on les fait en coton tissé, souvent les mèches plates ont le milieu en soie, de manière à augmenter encore le pouvoir capillaire. Les filaments de coton doivent être très longs pour favoriser l'ascension du liquide. Le tissu doit être également très lâche. Les mèches sont conservées aussi sèches que possible : l'humidité diminuant de beaucoup la capillarité. L'ascension du liquide n'est pas proportionnelle à la densité, les pétroles russes s'élevant plus facilement que ceux d'Amérique. Cette ascension dépend de la teneur en hydrocarbure brûlant au-dessous de 300°.

Les mèches durent assez longtemps. On a essayé d'augmenter cette durée en ajoutant au tissu des fils métalliques d'or ou d'argent ou même en les faisant en amiante. Mais les essais n'ont pas donné de bons résultats, ils ont été abandonnés. Il n'est pas nécessaire de couper les mèches, il suffit d'essuyer la partie carbonisée.

Quant à la cheminée, on doit lui donner une hauteur suffisante pour obtenir un tirage très actif qui donnera à la lumière une grande fixité et un grand éclat. Elles sont plus hautes que les cheminées des lampes à huile correspondantes. Leur diamètre doit être aussi restreint que

possible, mais il doit être suffisant pour que le verre résiste à la chaleur rayonnante. L'épaisseur du verre doit être la même partout pour qu'il se chauffe également et ne casse pas. A ce point de vue, les verres trop forts durent moins que les autres. On ne doit jamais exposer la cheminée à un courant d'air violent pour éviter le bris du verre sous l'action d'un refroidissement brusque.

Dans bien des cas, la cheminée présente une partie renflée au droit de la flamme. Il est bien évident que les cheminées doivent être entretenues avec beaucoup de soin ; avant de les essuyer avec un chiffon, on doit les passer au plâtre qui enlève l'humidité.

L'entretien des lampes à pétrole nécessite quelques précautions qui n'existaient pas avec les lampes à huile. L'emplissage du réservoir doit se faire le jour à l'abri de tout corps incandescent. On doit l'essuyer au moment de l'allumage, car le pétrole suinte toujours, quelle que soit la nature du récipient. Ce suintement, assez mal expliqué du reste, est d'autant plus faible que le bec se visse plus parfaitement sur son réservoir. Il proviendrait en effet des vapeurs émises par le pétrole qui se condenseraient ensuite le long de ce dernier. Outre sa malpropreté, ce suintement a l'inconvénient de dégager une odeur désagréable provenant de la vaporisation de l'huile pendant le fonctionnement de la lampe.

Le réservoir doit être rempli complètement. Dans le cas contraire, il se forme au-dessus du liquide une chambre pleine de vapeurs qui peuvent prendre feu et produire une explosion. Aussi dans plusieurs règlements administratifs, on avait exigé qu'un treillis métallique soit intercalé entre le bec et le réservoir, de manière à empêcher toute inflammation directe par la flamme de la mèche. Ce préservatif existe dans la plupart des lampes.

La mèche enflammée ne doit être élevée que progressivement pour permettre d'abord au verre de la cheminée de se dilater, et ensuite parce que la flamme n'atteint pas du premier coup sa dimension définitive. La flamme ne doit être ni trop rouge ni trop blanche. Trop rouge, elle indique une combustion incomplète et elle dégage une odeur désagréable ; trop blanche, elle dénote un tirage trop actif, l'huile se volatilise trop rapidement, et la mèche ne tarde pas à charbonner.

De temps à autre, on remonte un peu la mèche, car à la longue elle se carbonise et l'ascension du liquide se fait plus difficilement, de plus le pétrole n'étant qu'un mélange de carbures, les plus fluides s'élèvent les premiers. On reconnaît très bien cette sorte de diffusion aux résidus

qui restent dans la lampe, ils sont formés en majeure partie de pétrole lourd qu'on ne peut brûler, et qu'il faut vider de temps à autre.

Malgré les grandes améliorations apportées au raffinage du pétrole, ce liquide doit être considéré comme très inflammable, aussi ne doit-on jamais remplir le récipient pendant le fonctionnement de l'appareil. A ce point de vue, les réservoirs en verre ou en porcelaine sont très avantageux, ils permettent de suivre l'abaissement du niveau, par contre, ils sont très fragiles et ne donnent pas une fermeture étanche empêchant tout suintement. L'extinction des appareils ne doit pas se faire en baissant la mèche ; on risque de mettre le feu aux vapeurs surmontant le liquide du réservoir, et de produire une explosion, il est préférable de souffler la flamme après l'avoir abaissée suffisamment. On est arrivé à supprimer les ennuis de ces opérations, et bon nombre de lampes présentent des dispositifs spéciaux rendant l'allumage très facile et l'extinction sans danger.

Il faut avoir soin, quel que soit le type de lampe, d'éviter que les déchets carbonisés ou autres ne pénètrent dans les prises d'air qu'ils ne tarderaient pas à obstruer. Ce dernier n'arrivant plus régulièrement de tous les côtés, la flamme est inégale et devient fumeuse en certains points.

Quant au choix à faire entre les diverses lampes, il est subordonné à bien des conditions. Lorsqu'il s'agit de faible intensité lumineuse, le bec rond peut être employé avantageusement à l'exclusion du bec plat dont le bris des cheminées est trop fréquent. Avec les fortes intensités lumineuses, les lampes les plus simples sont préférables, car elles ne nécessitent que de rares réparations. Il faut éviter autant que possible d'employer des lampes dont les diverses parties, comme la mèche, la cheminée, sont difficiles à se procurer. Il en résulte pour le fabricant une sorte de monopole, car seul il peut fournir ces objets aux prix qu'il lui convient. Il reste ensuite à examiner la facilité d'allumage, d'extinction et d'entretien, et enfin le rendement lumineux, qui quoique très important, est cependant une des conditions secondaires, d'autant plus qu'il est sensiblement le même pour les types de lampes examinées précédemment.

---

#### IV. — Eclairage aux huiles lourdes.

---

**Lampe Donny.** — Lorsque la densité de l'huile minérale atteint 0,850, il est difficile, sinon impossible, d'employer les appareils précédents, il est nécessaire alors de recourir à des organes mécaniques pour produire l'ascension du liquide qui n'a plus lieu sous l'action de la capillarité.

Les premiers essais d'éclairage aux huiles lourdes remontent à 1834, ils sont dus à Beale en Angleterre, et à Busson-Dumourier son associé en France. Le but qu'ils se proposaient était d'utiliser les huiles de goudron sans valeur à cette époque et devenues depuis si importantes. Leurs essais n'aboutirent pas.

La question reçut une solution satisfaisante avec la lampe Donny de Gand (1858), qui a été le point de départ de tous les éclairages à l'huile lourde établis depuis. Comme dans tous les appareils d'éclairage aux huiles minérales, la condition principale était de fournir de l'air en quantité suffisante pour brûler ces substances riches en carbone. La lampe Donny était fort simple. Au centre d'un vase à fond plat, débouchait une conduite amenant de l'air comprimé provenant d'un gazomètre ou d'un souffleur. Une deuxième conduite parallèle laissait arriver l'huile lourde dont l'alimentation était assurée au moyen d'un réservoir latéral à niveau constant. Le vase ou brûleur était surmonté d'un cône métallique par où s'échappait la flamme de la lampe (fig. 31).

Pour mettre l'appareil en marche, il fallait chauffer le brûleur jusqu'à ce que l'huile émette des vapeurs à une température suffisante pour pouvoir s'enflammer au contact du courant d'air central. A partir de ce moment, le cône était chauffé directement par la flamme et donnait assez de chaleur par lui-même pour qu'on n'ait plus besoin du chauffage extérieur. Par suite du bouillonnement de l'huile dans le brûleur, des gouttelettes s'échappaient tout autour, mais une rainure ménagée sur le bord du vase recevait le trop plein, qui s'écoulait par un tube spécial. La flamme avait un volume considérable ne permettant

l'emploi de cet appareil qu'en plein air. De plus l'obligation d'avoir un réservoir d'huile et un insufflateur d'air rendait cette lampe encombrante, aussi n'eût-elle qu'un succès relatif.

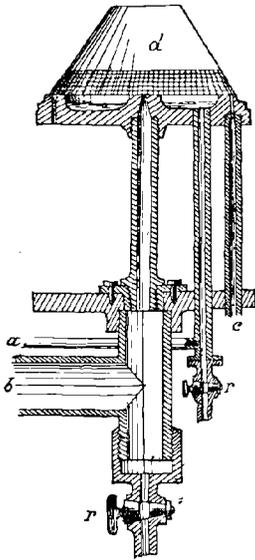


Fig. 31. — Lampe Donny.

*a*, Arrivée de l'huile. — *b*, Arrivée de l'air comprimé. — *c*, Trop plein. — *d*, Cône directeur de la flamme.

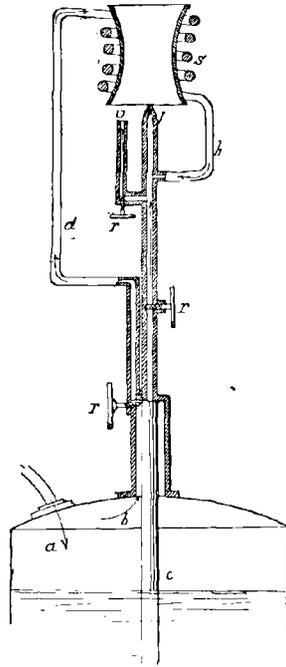


Fig. 32. — Lucigène.

*a*, Arrivée de l'air comprimé. — *b*, Tube d'ascension de cet air. — *c*, Conduite d'huile lourde. — *s*, Serpentin. — *j*, Ajustage. — *v*, Veilleuse. — *r*, Robinets.

**Lucigène.**— En partant du même principe, MM. Hanney et Leyde, en Angleterre, imaginèrent un éclairage spécial désigné sous le nom de lucigène. Cette lumière fit son apparition en 1887, à l'Exposition du Palais de Cristal à Londres. L'huile est contenue dans un réservoir en tôle dans lequel on envoie de l'air comprimé. Elle s'élève ensuite, sous l'influence de la pression, dans un tube vertical terminé par un ajustage en bronze placé au-dessous de la chambre de combustion. L'air circule tout autour de ce tube dans un tuyau annulaire qui l'amène dans un serpentin entourant cette chambre de combustion. Là, il s'échauffe et revient rencontrer le jet d'huile qu'il pulvérise. Deux robinets placés sur chacun des tubes d'amenée de l'huile et de l'air, permettent d'en régler le débit. La flamme débouche dans deux troncs de cône opposés

par le sommet, et placés à l'intérieur des spires du serpent. Elle chauffe ces dernières et par suite l'air qui les traverse; le fonctionnement est alors identique à celui de la lampe Donny. Il peut se faire, soit par suite du mauvais réglage des robinets, soit par des impuretés contenues dans l'huile, que la flamme s'éteigne. Pour en permettre l'allumage instantané, dans le fond de la chambre de combustion débouche la veilleuse formée par un tube contenant une mèche d'amiante alimentée par l'huile de goudron. La veilleuse brûle constamment, et au moment de l'allumage, c'est elle qui chauffe les spires du serpent. La flamme a la forme d'un panache de 0,40 de hauteur, elle est accompagnée d'un sifflement particulier. On comprime l'air à un kilogramme de pression au moyen d'une pompe spéciale mue par un moteur à pétrole ou une locomobile. Une canalisation souterraine alimente tous les foyers (fig. 32).

La grande intensité lumineuse de cette lampe est due à la surface considérable de la flamme, car son éclat est relativement faible, aussi n'a-t-on pas avec cette lumière les ombres crues de l'arc voltaïque. Toutefois, elle présente de nombreux inconvénients; l'emploi d'une conduite souterraine pour alimenter les divers brûleurs donne lieu à des fuites et peut amener l'extinction générale. De plus, chaque appareil ne saurait fonctionner sans faire beaucoup de bruit et de fumée. Enfin sa lumière ne serait pas suffisamment fixe. Le lucigène a été employé pour l'éclairage des travaux du pont du Forth en Ecosse et de l'hôtel Terminus à Paris. C'est du reste la meilleure application qu'on puisse en faire, car elle ne convient pas pour un éclairage permanent. Le prix de revient de cette lumière, d'après plusieurs essais, s'élèverait à 2 fr. 26 par foyer-heure et il serait supérieur à celui de l'éclairage électrique dans les mêmes conditions. Toutefois, il est difficile de conclure d'une façon absolue, l'intensité lumineuse du lucigène n'ayant pas été mesurée d'une manière très exacte.

**Lampe Doty.** — On a remédié depuis aux inconvénients des lampes lucigènes. Avec le système Doty, les foyers sont indépendants. Il n'y a plus de canalisation, d'où faculté énorme de les déplacer. Le moteur et le brûleur sont montés sur le même appareil. Sur un récipient en tôle d'acier, devant contenir l'huile lourde, se trouve installée une pompe à double effet mue à la main. Elle sert à comprimer l'air dans le réservoir, qui est rempli d'huile environ aux trois quarts. Un

tube, plongeant dans le fond de ce récipient, est enroulé en spirales à l'extérieur de la lampe; l'extrémité de ce serpentín est ramenée vers le bas, et débouche par un ajustage intérieur. Ce n'est plus comme précédemment l'air, qui est chauffé, mais l'huile lourde. On règle le débit au moyen d'un robinet placé sur le tube d'ascension. La veilleuse du système précédent est remplacée par un godet placé à la base du serpentín et contenant une mèche en amiante. Pour amorcer la lampe, on verse de l'huile dans ce godet, et on enflamme la mèche. Lorsque le serpentín est suffisamment chaud, ce qui a lieu au bout de quatre ou cinq minutes, on laisse arriver l'huile dans le serpentín. Le poids de la lampe Doty est de 70 kilogrammes. Sa puissance lumineuse serait très exactement 4,674 bougies pour une consommation de 4 litres d'huile à l'heure.

**Lampe Wells.** — Le brûleur de la lampe Doty est beaucoup trop bas, et, à ce point de vue, la lampe Wells lui est préférable. Ce n'est du reste qu'une amélioration de l'appareil précédent. Le réservoir est le même avec sa pompe à main. Le robinet de réglage est à vis, et son boisseau est contenu dans une partie mobile formant filtre, empêchant ainsi les grumeaux de s'élever au brûleur. Ce dernier est formé par un serpentín à axe horizontal. Il vient se placer sur le tube d'ascension au moyen d'un joint spécial étanche; les spires ne sont plus circulaires, mais carrées, présentant à chaque sommet un bouchon à vis. Cette disposition permet le nettoyage du brûleur; il suffit de démonter les bouchons pour passer un burin. Cet entretien doit se faire tous les jours, car le serpentín ne tarderait pas à être obstrué par les dépôts de graphite (fig. 33).

L'axe du serpentín est horizontal, et le jet liquide est amené suivant cet axe par un double retour d'équerre. La flamme est identique à celle du lucigène; elle est protégée, près de l'orifice de sortie, par une sorte de capuchon en tôle ou garde-brûleur. Il faut amorcer la lampe. A cet effet, au-dessous du serpentín, se trouve disposée une coupe dans laquelle on met des chiffons imbibés d'essence ou de pétrole. La chaleur dégagée par ces chiffons suffit pour chauffer fortement le brûleur. Au bout de cinq à six minutes, on ouvre le robinet d'ascension du liquide, et l'appareil se met en marche. Pour faciliter la combustion des chiffons dans la coupe, on place au-dessus une cheminée en tôle qui entoure le serpentín. La coupe sert en outre à recevoir, pendant le fonctionnement, les gouttelettes liquides qui pourraient s'échapper de l'ajustage. Toutes les

quatre ou cinq heures, il est nécessaire de donner quelques coups de piston pour faire monter la pression dans le réservoir ou ajouter du liquide.

La flamme a les mêmes caractères que celle du lucigène ; d'un éclat faible, son intensité est très considérable, à cause de sa grande surface. Elle fait également entendre un sifflement particulier.

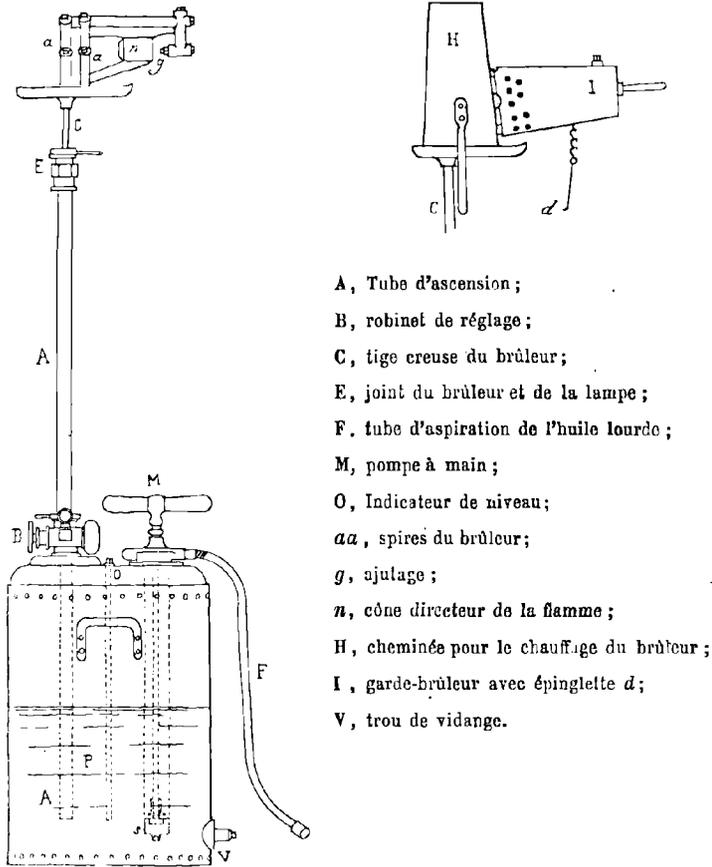


Fig. 33. — Lampe Wells.

La lampe Wells a de grands avantages, facilité de transport, d'installation et de montage rapide. Aussi est-elle employée pour les éclairages provisoires des chantiers, des usines et des manœuvres militaires. On peut la déplacer pendant le fonctionnement, et une foule de combinaisons permettent de varier ses modes d'emploi. Mais elle présente aussi

de graves inconvénients : tous les jours, il faut nettoyer le brûleur, opération toujours longue et délicate. Elle nécessite des huiles lourdes sans grumeaux, qui ne tarderaient pas à arrêter le fonctionnement de l'appareil. Il faut en outre, toutes les quatre ou cinq heures, donner quelques coups de piston pour remonter la pression, ou ajouter du liquide, d'où obligation d'avoir un agent permanent. Enfin elle a contre elle son prix d'achat assez élevé.

Quant au prix de revient de la lumière elle-même, il est relativement faible, par suite du bon marché des huiles lourdes. Une lampe de 100 carrels consomme environ 5 kilogrammes d'huile à l'heure.

D'une manière générale, l'éclairage aux huiles lourdes a été jusqu'à ce jour d'un emploi très limité. C'est qu'en effet, il ne saurait être utilisé dans l'intérieur des habitations, et, comme éclairage public, il ne peut lutter contre des systèmes beaucoup plus simples et moins encombrants. Il ne lui reste plus que les éclairages provisoires en plein air; il est vrai que le champ est assez important pour qu'on puisse avoir recours à des appareils spéciaux.

## TROISIÈME PARTIE

---

# GAZ

---

### I. — Historique.

Il existe en un grand nombre de points de la surface du globe, des dégagements gazeux naturels. Quelques peuples, les Chinois en particulier, les utilisent depuis longtemps à l'éclairage et au chauffage. Au moyen de canalisations très rudimentaires en bambou, ils les envoient aux différents points à desservir. La connaissance de ces sources gazeuses, quoique très ancienne, ne saurait être regardée comme la découverte du gaz d'éclairage, car malgré leur complète analogie, on s'en est toujours servi sans s'occuper de leur nature et de leur origine.

Les premiers travaux sur le gaz sont beaucoup plus récents. En 1659, le docteur Clayton, doyen de Kildare, ayant rencontré dans un fossé des environs de Wigan (Lancashire) un de ces dégagements gazeux, imagina de distiller un morceau de houille ramassé dans ce fossé. Le gaz recueilli dans des vessies servait le soir à quelques expériences amusantes, aussi cette préparation faite sans but bien déterminé passa inaperçue.

Un peu plus tard, dans une série d'essais sur un nouveau mode de distillation de la houille employée pour la fabrication du coke métallurgique, et dont le principe était dû à Faujas de Saint-Fond, Lavoisier fixa la nature des gaz provenant de cette distillation, mais il n'en tira aucune conclusion sur leur application au chauffage ou à l'éclairage.

Enfin, vers la fin du siècle dernier, lord Dundonald, en faisant l'analyse des fumées des fours à coke, parvint à isoler complètement les gaz combustibles, mais toujours sans se préoccuper de les utiliser. Aussi tous ces essais, que l'on peut regarder comme autant de décou-

vertes du gaz, ne diminuent en rien le mérite de Philippe Lebon qui, dès le début, fit toutes ses recherches avec l'idée bien arrêtée de trouver ce combustible important.

Philippe Lebon, né à Joinville (Haute-Marne) en 1767, était à Paris en qualité d'ingénieur de l'État, lorsqu'il imagina en 1791 de distiller de la sciure de bois. Il supposait avec raison que le pouvoir combustible de cette substance devait se retrouver dans les gaz de la distillation, et qu'il serait plus facile de l'utiliser sous cette forme. Dans une cornue en fonte, il chauffait à feu nu cette sciure, le gaz qui s'échappait par le tube abducteur donnait une flamme très chaude et très éclairante. Lebon donna à son appareil le nom de thermolampe, car, dans son esprit, ce nouveau produit devait aussi bien servir au chauffage qu'à l'éclairage. Une première application en fut faite à l'éclairage des docks du port du Havre, dans le but de faciliter les manutentions au moyen de cette lumière nouvelle plus intense que les autres. Mais, soit que le gaz ne fut pas assez pur, ou que l'installation ait été incomplète, les expériences n'aboutirent pas, et Lebon dut abandonner ses essais.

Il revint à Paris, et pour vulgariser son invention, il éclaira au gaz sa maison et ses jardins de la rue Saint-Dominique. Pour couvrir les frais de son entreprise, Lebon prélevait sur chaque spectateur un droit de 9 francs, moyennant cette somme, on pouvait suivre tous les détails de la fabrication.

Il avait obtenu en outre du Premier Consul, la concession gratuite des bois de la Forêt de Rouvray pour en extraire toute la sciure dont il aurait besoin. Malheureusement tant de bonne volonté ne devait pas aboutir, Lebon ne vit même pas les débuts de son invention qui devait être si fertile en résultats.

Le matin du 3 décembre 1804, il fut trouvé assassiné aux Champs-Élysées. Il revenait des fêtes du sacre de l'Empereur, où il avait assisté en sa qualité d'ingénieur de l'État. Le drame de sa mort n'a jamais été éclairci, et on ignore encore si elle est due à quelque vengeance, ou à des circonstances fortuites.

L'Empereur dut faire une pension à la veuve, que Lebon laissait dans la plus grande misère, après avoir dépensé sa fortune dans ses recherches. Ce n'est qu'en 1887, c'est-à-dire quatre-vingt-trois ans après sa mort, qu'une statue lui a été élevée à Chaumont dans son pays natal.

Les essais de Lebon devaient porter leurs fruits, ils avaient été suffisamment vulgarisés pour passer dans le domaine public.

Dès 1798, Willam Murdoch en Angleterre, contremaître des ateliers d'un autre inventeur, James Watt à Soho, distillait de la houille pour en extraire le gaz d'éclairage. C'est lui qui mettra en quelque sorte l'invention de Lebon en état d'être utilisée, il sera aidé dans ses recherches par Samuel Clegg que Murdoch s'était attaché dès le début. La houille était distillée dans une cornue en fonte, dont la forme a été conservée de nos jours. Il fallait ensuite purifier le gaz avant de l'envoyer aux brûleurs, et enfin l'accumuler dans des réservoirs ou gazomètres, pour l'utiliser au moment opportun. C'est en résumé la préparation actuelle du gaz. Les essais de Soho durèrent de 1798 à 1805, date à laquelle l'usine de Watt fut complètement éclairée au gaz. Mais, dès ce moment, cette industrie était créée ; son outillage était suffisamment perfectionné pour pouvoir affronter la difficulté d'un service courant.

C'est alors qu'apparaît l'homme, qui devait le plus concourir à sa propagation, complétant ainsi en quelque sorte l'ouvrage de ses deux prédécesseurs. L'allemand Winzler, établi en Angleterre sous le nom de Windsor, obtint d'installer le gaz dans les rues de Londres. L'introduction de l'éclairage au gaz dans cette ville ne présenta aucune difficulté, et, dès 1810, cette source lumineuse éclairait les principaux quartiers de cette capitale.

Il ne devait pas en être de même en France, où l'esprit de routine et surtout les intérêts lésés de quelques fabricants de lampes devaient empêcher pendant quelque temps son développement. Les essais de Lebon avaient été continués par Ryss Poncelet de Liège avec l'assentiment de sa veuve. Une usine improvisée dans la Galerie Montesquieu servit à l'éclairage de ce passage. Les brûleurs étaient munis des réflecteurs, que Bordier Marcet avaient adoptés dans sa tentative d'éclairage de la ville de Paris au moyen de quinquets (1808). C'est du reste, grâce à ce concours de circonstances, que l'éclairage à l'huile essayé concurremment avec celui au gaz ne s'est pas développé davantage. L'essai du passage Montesquieu passa inaperçu.

Il faut arriver jusqu'en 1817, date de l'arrivée de Windsor en France, pour voir le gaz faire une réapparition. Malgré l'opposition systématique qu'il rencontra, Windsor parvint à éclairer d'abord le passage des Panoramas, puis l'Odéon, le Palais-Royal et le Luxembourg. L'antagonisme venait surtout des fabricants de lampes à huile, qui voyaient leur monopole terminé, et croyaient cet éclairage près de disparaître. Leurs prévisions n'ont nullement été vérifiées, bien au contraire ; cet exemple

peut être de quelque utilité dans l'apparition de nouvelles sources lumineuses. Les objections étaient basées sur les propriétés toxiques du gaz, et sur les dangers qu'il présente, lorsqu'il est mélangé avec l'air, mais Windsor les combattit une à une, allant dans son enthousiasme jusqu'à présenter le gaz comme une panacée contre toutes les maladies. Malgré tous ses efforts, Windsor ne put lutter; à peu près ruiné, il dut céder son matériel à un autre anglais Pauwels, qui recommença les essais dans un autre endroit de Paris, et installa l'usine du Grand-Prieuré destinée à éclairer les quartiers du Temple et du Marais.

A cette époque, les usines à gaz n'avaient pas les proportions qu'elles ont aujourd'hui. Quelques cornues en fonte nécessaires à la distillation, un épurateur de faible dimension, car on ne connaissait pas les richesses du goudron, regardé alors comme un résidu inutile, et enfin un gazomètre de faible volume, tel était l'ensemble d'une installation pour la fabrication du gaz. On s'explique ainsi la facilité avec laquelle une usine pouvait être déplacée d'un quartier à l'autre, et comment Pauwels avait pu utiliser dans son usine du Grand-Prieuré le matériel de Windsor. La tentative ne fut guère plus heureuse que les précédentes, et toutes les entreprises du gaz semblaient à Paris vouées à l'insuccès, lorsque les pouvoirs publics intervinrent.

Dès 1818, M. de Chabrol, alors préfet de la Seine, avait fait établir une usine à gaz à l'hôpital Saint-Louis, elle n'est disparue qu'en 1860.

La même année, Louis XVIII donna dix-huit cents mille francs sur sa cassette privée pour fonder la Compagnie royale du gaz de l'avenue Trudaine, qu'il revendit en 1823 avec un fort bénéfice à la Compagnie Anglaise de la barrière de Courcelles. L'usine de l'avenue Trudaine a été démolie en 1840.

L'élan était donné, et de toutes parts le gaz commença à apparaître. Il y avait alors, comme aujourd'hui pour les stations électriques, deux courants d'opinion pour les grandes ou petites installations. Le nombre des usines privées était très important, tous les théâtres, les Variétés, l'Opéra, le théâtre Louvois s'éclairaient eux-mêmes. L'éclairage des rues de Paris n'eut lieu que le 1<sup>er</sup> janvier 1829, c'est-à-dire 19 ans après celui de Londres, il fut inauguré rue de la Paix et place Vendôme.

Le succès fut très considérable, car à partir de ce moment les travaux furent poussés avec une très grande vigueur, les canalisations installées dans les principales rues de Paris permirent de fournir le gaz aux particuliers. Un très grand nombre de Compagnies s'étaient créées

pour l'exploitation de concessions accordées le 12 décembre 1846. La durée de la concession était portée à 18 ans ; les Compagnies devaient poser les canalisations et les appareils d'éclairage, qui devenaient la propriété de la Ville de Paris à l'expiration du contrat. Comme compensation, l'administration ne devait autoriser l'installation d'aucune autre source lumineuse dans cette période, c'est-à-dire que le gaz était adopté à l'exclusion de tout autre système. Le traité fut sanctionné par Louis-Philippe. Il y eut six Compagnies se partageant la Ville de Paris, chacune avec un périmètre parfaitement déterminé.

La plus ancienne (1822) était la *Compagnie Anglaise* avec deux usines importantes, l'une avenue Trudaine achetée à Louis XVIII, et l'autre barrière de Courcelles. Elle avait été fondée par deux industriels anglais Manhy et Wilson. Les deux usines n'existent plus, celle de la barrière de Courcelles vient de disparaître tout récemment. C'est du reste le sort de toutes les usines situées dans le centre de Paris, peu à peu elles ont été reportées à la périphérie, suivant la capitale dans son développement.

La *Compagnie Française*, fondée par Pauwels fils (1824), possédait également deux usines assez éloignées, l'une à Vaugirard et l'autre faubourg Poissonnière, où Pauwels avait installé un gazomètre de 8.000<sup>m</sup>3, considéré alors comme une construction audacieuse ; ils atteignent actuellement 400.000<sup>m</sup>3.

L'usine du Grand-Prieuré, construite par Pauwels père, après l'insuccès de Windsor, avait été vendue par Pauwels fils à la *Compagnie Lacarrière* (1836). Cette Compagnie possédait également une deuxième usine rue de la Tour, à Passy. Le but des Compagnies, en installant leurs usines à des distances considérables, était de pouvoir plus tard obtenir la concession des espaces intermédiaires, ou de pouvoir fusionner avec les Compagnies rivales.

En 1837, Pauwels fils, à qui l'industrie du gaz est redevable de grandes améliorations, se sépara de la Compagnie française pour fonder la *Compagnie Parisienne*, dont l'usine située à Ivry devait éclairer l'Est de Paris concurremment avec la *Compagnie de Belleville* (1838) établie par Payn. Cette dernière devait fournir la lumière aux faubourgs Saint-Martin et Saint-Denis.

Enfin, apparut la *Compagnie de l'Ouest*, dont l'usine de Passy devait faire disparaître les derniers réverbères encore employés à l'éclairage. Cette sixième et dernière Compagnie avait été fondée par Pérardel et

Cosselin. Au début, le prix du gaz n'était pas uniforme, il variait d'un quartier à l'autre. La concurrence n'était guère possible, car un arrêté préfectoral (1822) avait délimité le champ d'action de chaque Compagnie. Ce système, assez favorable pour ces dernières, n'empêcha pas quelques-unes d'entre elles d'avoir des débuts très pénibles, si bien qu'il fallut leur accorder une prolongation de leur privilège, dont la durée avait été limitée à 18 ans. Le prix du gaz fut fixé à 0 fr. 49 le mètre cube avec un abaissement progressif de un centime par an, jusqu'au chiffre de 0 fr. 40. Les Compagnies ne se trouvaient pas dans les mêmes conditions, les unes ayant à éclairer des quartiers industriels ou riches, les autres au contraire ne pouvant guère compter que sur l'éclairage de la voie publique, aussi elles ne tardèrent pas à demander la révision de leur contrat.

C'est alors que commença la grande discussion, à laquelle prit part le Conseil d'État, entre la Ville et les Compagnies, pour savoir si ces dernières seraient autorisées à fusionner.

Ce système fut adopté, et le 22 août 1855 fut fondée la puissante *Compagnie Parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz* à qui ce monopole fut accordé pour une durée de 50 ans, c'est-à-dire jusqu'en 1905. Un cahier des charges déterminait les conditions d'installation et de vente du gaz. Un nouveau traité avec la Ville de Paris fut passé le 25 janvier 1861, il fut complété par celui de février 1870. Le prix du gaz était fixé à 0 fr. 30 pour les particuliers, et 0 fr. 15 pour la Ville. La plupart des contrats passés entre les Villes et les Compagnies sont basés sur le même principe.

Le nombre actuel des usines (1893) de la Compagnie Parisienne est de 11, produisant annuellement 150.000.000 de mètres cubes de gaz, 1.000.000 de tonnes de coke et 600.000 tonnes de sous-produits. Les gazomètres peuvent emmagasiner 1.000.000 de mètres cubes. Ces chiffres importants montrent non seulement le développement considérable de cette fabrication, mais ils font pressentir la progression forcée des autres industries chargées de son alimentation.

A Londres, les débuts du gaz ont été plus rapides, mais on est arrivé sensiblement au même résultat. Les premières Compagnies datent de 1810, le régime de la concurrence fut adopté comme il l'a été du reste pour les autres industries. Les quartiers ne furent même pas limités, aussi les installations furent faites avec une très grande rapidité, et pendant les premières années, le prix du gaz fut très bas. Mais après quelque temps

de lutte, les Compagnies finirent par s'entendre, et le résultat fut un monopole de fait, dont les exigences forcèrent le consommateur à s'adresser au Parlement pour en obtenir la réglementation. Dès 1860, une Compagnie fut seule autorisée par quartier, et la concession fut accordée, toujours d'après la loi anglaise, pour une durée illimitée. L'amortissement des frais de premier établissement étant supprimé, le prix du gaz est diminué d'autant. Si on considère en outre l'absence des droits d'octroi sur les matières premières nécessaires à sa fabrication, on comprendra facilement qu'à Londres le prix du gaz soit inférieur à celui de Paris. Quoiqu'il en soit, la plupart des Compagnies anglaises ont fusionné en 1875, et sur les quinze du commencement, il n'en reste plus que trois.

Le gaz s'est répandu assez rapidement dans les divers pays de l'Europe, Berlin a été éclairé en 1826, et Vienne, en 1851 seulement. Les premières installations, comme en France, ont été faites par des industriels anglais, qui les premiers avaient pressenti l'extension considérable que prendrait cette industrie. On avait bien été forcé de s'adresser à eux, car seuls ils possédaient l'esprit d'association nécessaire à la réunion des capitaux indispensables pour la mise en marche d'une industrie de cette importance. Cependant dans bien des pays, la suspicion qu'entraîne l'introduction d'éléments étrangers, et la crainte des monopoles ont forcé les municipalités à fabriquer elles-mêmes leur gaz, comme le fait la ville de Bruxelles; c'est le troisième mode d'exploitation d'éclairage au gaz.

On a vu en effet le système anglais ou de la libre concurrence, le système français ou monopole atténué par une réglementation, et enfin le régime de fabrication par la ville elle-même. Il est certain que chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients, et qu'il doit être appliqué suivant les circonstances. Mais au point de vue historique, il convient de citer ces trois modes d'exploitation, qui sont le plus généralement employés, et dont les principes peuvent s'appliquer à l'éclairage électrique. Le choix doit en être fait avec soin, car il engage les villes pour de longues années.

Le gaz s'est d'abord développé dans les centres miniers, mais, grâce aux facilités de transport, il y a actuellement bien peu de villes d'une certaine importance qui ne possèdent pas une usine à gaz. En France, où cependant la consommation n'est pas la plus considérable, il n'existe pas d'agglomérations au-dessus de 20.000 habitants, qui ne soient éclairées au gaz. La prospérité financière des Compagnies gazières date de 1860,

elle n'a fait que croître, et depuis cette époque, on a eu bien peu de désastres à enregistrer.

Les progrès importants faits dans la fabrication, l'utilisation complète des sous-produits, qui sont devenus des matières d'une très grande valeur, sont autant de causes qui expliquent cette prospérité. Au point de vue de l'éclairage, les développements n'ont pas été moins considérables, mais les causes ont été toutes différentes.

Avant l'Exposition de 1878, on employait exclusivement les brûleurs à flamme plate ou à double courant d'air. Quelque modification apportée de temps à autre améliorait le système, mais ne constituait pas, à vrai dire, une grande innovation. Vers 1836, Chaussonot avait imaginé un bec spécial, dans lequel l'air arrivait à la flamme, chauffé préalablement, il en résultait une augmentation de lumière et une diminution dans la consommation. L'invention de Chaussonot fut vite oubliée, il fallut l'apparition de l'électricité pour forcer le gaz à sortir de la routine à laquelle il semblait condamné. Pendant l'Exposition de 1878, l'avenue de l'Opéra fut éclairée à l'arc voltaïque, le gaz, mis en demeure de fournir une lumière aussi intense, n'eut d'autre moyen dans sa précipitation que de donner aux appareils existants des dimensions considérables. Le bec du Quatre-Septembre, qui n'est en somme que la réunion de plusieurs becs fendus, et le bec Sugg ou bec à double courant d'air de forte dimension firent en même temps leur apparition, le premier à Paris, le second à Londres. Ce sont les deux premiers brûleurs intensifs fournissant une lumière pouvant lutter avec l'arc voltaïque, mais dans des conditions de consommation les plus défavorables. On se contentait de ces appareils, lorsqu'en 1881, F. Siemens, célèbre par ses travaux sur la récupération ou utilisation des chaleurs perdues, imagina d'appliquer ce principe aux brûleurs à gaz, rééditant en quelque sorte le bec Chaussonot. Les essais de Siemens furent couronnés de succès, il en résultait une augmentation dans le rendement des brûleurs, c'est-à-dire qu'avec la même consommation de gaz, on obtenait une lumière plus considérable. Le brûleur de Siemens fut suivi immédiatement d'un appareil basé sur le même principe, mais d'une forme toute différente: c'est le bec Wenham (1885) à flamme en-dessous. La lampe Wenham à son tour fut le point de départ d'une série de becs identiques imaginés dans le but de la supplanter, mais ils n'en diffèrent pas considérablement. Il n'en est pas de même des becs à incandescence dont l'origine a été la lumière oxyhydrique, qui se terminent par le bec Auer. Ils donnent actuellement la meilleure

solution de l'éclairage par le gaz à l'intérieur des habitations, et leur rendement considérable explique leur généralisation dans ces dernières années.

D'une manière générale, la consommation des brûleurs a été constamment en croissant, elle n'était guère au début que de 120 à 150 litres, elle atteint maintenant 1.200 et 1.400 litres. D'un autre côté, l'unité de lumière, obtenue au commencement avec 105 litres au minimum, est produite actuellement avec 50 et 30 litres, suivant le type de brûleur. On peut juger par ces chiffres des progrès considérables accomplis par les brûleurs depuis 1878, la conséquence forcée a été une augmentation importante dans la quantité de lumière employée.

Si à ce développement, on ajoute les efforts que font les Compagnies gazières pour accroître les applications de ce combustible, en donnant toute facilité pour son emploi, on peut être persuadé que la consommation n'est pas sur le point de baisser. On s'explique au contraire, que du chiffre de 382.000.000 de mètres cubes qu'elle atteignait pour la France seule en 1878, elle soit passée à 628.000.000 en 1890, soit un accroissement de plus de 50 pour 100 dans un espace de douze ans.

Il faut remarquer en outre, que le gaz est employé à la production de la force motrice et de la chaleur, qu'il constitue seulement un des produits provenant de la distillation de la houille, et que le coke, le goudron, les eaux ammoniacales ont une valeur importante, en un mot il est non seulement indispensable par lui-même, mais encore, il fait partie d'une fabrication de première nécessité.

## II. — Fabrication du gaz d'éclairage

### 1° GAZ.

**Distillation.** — Le gaz est extrait de la houille par distillation. Cette opération s'effectue dans des cornues en fonte ou en terre réfractaire en forme de  $\square$ . Les cornues en terre dues à Graffton, sont préférables à cause de leur prix d'achat peu élevé, de leur plus grande durée, et de leur résistance à la chaleur. Aussi sont-elles à peu près les seules employées actuellement. Ces cornues se font à la main ou mécaniquement ; leur durée est de deux ans environ.

Elles sont disposées horizontalement par groupe de 5, 7 et 9 au-dessus de foyers à feu nu chauffés avec du coke provenant de la distillation de la houille (fig. 34). L'emploi de foyer à gaz a été également préconisé ; les fours à récupération du système Siemens, Ponsard et Lencachez donnent de très bons résultats. Pour les petites usines, on peut se servir

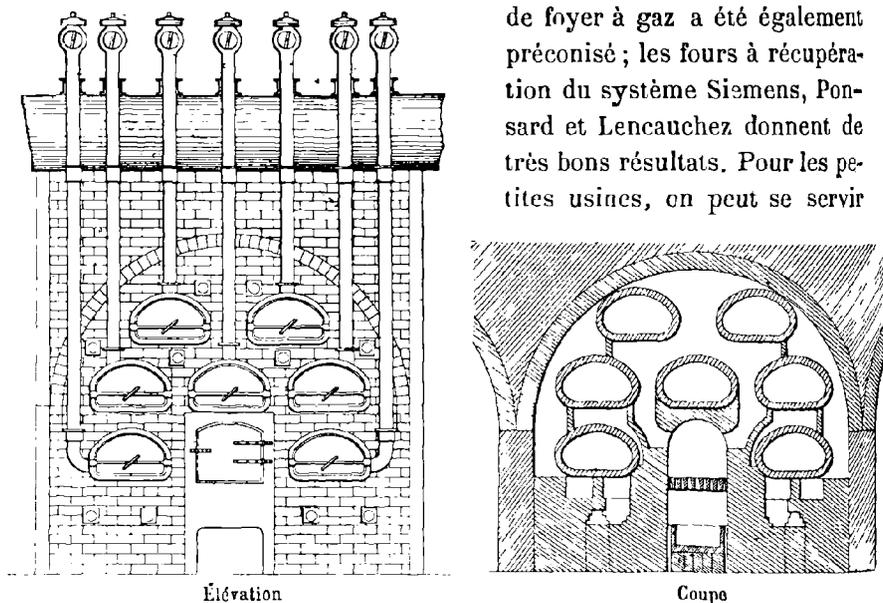


Fig. 34. — Four de distillation.

des fours Muller et Echelbrenner. Le chauffage au gaz coûte cher

d'installation, mais l'économie en charbon qu'il procure, finit par le rendre plus avantageux que les foyers ordinaires. Depuis quelques années, on utilise le goudron au chauffage des cornues, ce procédé dû à Kirkham est très économique. Dans les essais de ces divers modes de chauffage, on retrouve les efforts nombreux, qui ont été faits, pour réduire au minimum le prix de revient du gaz d'éclairage.

En général, les foyers sont réunis entre eux, et forment une batterie, on les consolide par des armatures. De cette manière, on augmente leur stabilité tout en réduisant les pertes de chaleur.

Toutes les houilles ne conviennent pas également à la préparation du gaz d'éclairage, on emploie de préférence les houilles dites *grasses à longue flamme*, que l'on trouve particulièrement dans le bassin houiller du Nord de la France, dans la vallée de la Sambre, en Allemagne, et à Newcastle en Angleterre. La houille ne doit pas être mouillée, son pouvoir éclairant se trouve diminué d'autant.

La contenance d'une cornue est de 100 à 150 kilogrammes de houille, la couche doit être répandue très uniformément.

Le chargement se fait à la pelle. On a essayé d'employer un système mécanique dû à M. Coze, directeur de l'usine à gaz de Reims (1886); la cornue, au lieu d'être disposée horizontalement, est inclinée à 30°, la houille est introduite du côté le plus élevé comme pour le chargement des fours à coke et le gaz sort à l'autre extrémité. Cette disposition a comme avantage de ne pas exiger des ouvriers spéciaux pour le chargement. La charge de ces cornues est de un tiers supérieure à celle des cornues ordinaires; deux fours Coze à neuf cornues équivalent dans la pratique à trois fours ordinaires à neuf cornues également.

Quel que soit le système, les cornues ne doivent jamais être remplies complètement; sous l'action de la chaleur la houille se boursouffle, et peut faire éclater la cornue. La durée de la distillation est de quatre heures environ, tout le gaz n'a pas été retiré, mais les produits, qui se dégagent à la fin, ont un pouvoir éclairant trop faible. La chaleur doit être très vive, pour que les hydrocarbures riches du début n'aient pas le temps d'être décomposés. Il faut en général de 20 à 25 kilogrammes de coke, pour produire la distillation de 100 à 150 kilogrammes de houille. La distillation étant continue, les cornues ne tardent pas à se couvrir intérieurement d'une couche de graphite, qui n'est autre que du charbon très dur. Pour les nettoyer il suffit alors de faire passer un courant d'air, qui brûle le graphite.

Chaque cornue est munie à son ouverture d'une collerette (fig. 35) contre laquelle vient se fixer une tête en fonte maintenue par des boulons, cette dernière porte un tube de dégagement par où s'échappe le gaz. La tête en fonte est fermée par un masque ou tampon autoclave. En Angleterre, on emploie des cornues dont le corps est en plusieurs pièces assemblées entre elles à rainure et languette, le joint est rendu étanche au moyen d'un lut en terre réfractaire. La température intérieure d'une cornue varie de 900 à 1.000 degrés. Dans toute distillation, quel que soit le système adopté, il faut éviter de laisser pénétrer de l'air, qui diminue le pouvoir éclairant du gaz.

100 kilogrammes de houille donnent :

Gaz d'éclairage . . . . .	25 à 30 mètres cubes.
Coke . . . . .	65 à 70 kilogrammes.
Goudron . . . . .	5 à 6 —
Eau ammoniacale . . . . .	4 à 5 —

Le gaz ne peut être employé directement, il renferme un grand nombre d'impuretés qui, non seulement, le rendent impropre à l'éclairage mais en font encore un produit dangereux. A sa sortie de la cornue, il est composé de produits utiles comme.

Des carbures éclairants ;	} peu ou pas éclairants, mais combustibles
Du gaz des marais . . . . .	
De l'oxyde de carbone . . . . .	
De l'hydrogène . . . . .	

et de gaz nuisibles dont il faut se débarrasser comme :

- L'hydrogène sulfuré ;
- L'acide carbonique ;
- L'ammoniaque ;
- Le cyanogène ;
- Le sulfure de carbone.

L'épuration du gaz a pour but de faire disparaître les composés qui altèrent sa pureté. On a recours à des procédés physiques et chimiques. Dans cette série d'opérations, un certain nombre de carbures éclairants se condensent, mais cette perte est forcée, car ces carbures peu volatils se déposeraient dans les conduites, et ne tarderaient pas à les obstruer.

Les moyens physiques employés sont la dissolution et la condensation. Le premier se rapporte plus spécialement à l'ammoniaque, le second au contraire convient aux carbures lourds dont le mélange constitue le goudron. Les appareils sont disposés méthodiquement à la suite les uns des autres.

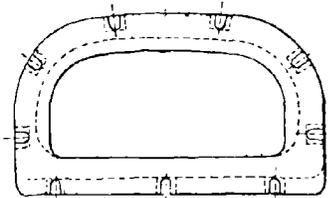


Fig. 35. — Tête de cornue à gaz.

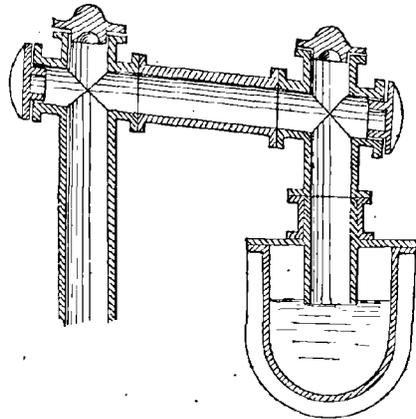


Fig. 36. — Tuyau montant, plongeur et barillet.

**Épuration physique. — Barillet.** — En sortant de la cornue, le gaz se rend, au moyen d'une conduite verticale de 150 à 165 millimètres, dans le *barillet*. C'est un cylindre horizontal placé au-dessus des fours et rempli d'eau jusqu'à mi-hauteur; les conduits d'amenée du gaz plongent de 2 à 3 centimètres dans cette eau. A l'une de ses extrémités, le barillet reçoit une conduite de départ pour le gaz, l'autre extrémité est munie, à sa partie inférieure, d'un tuyau de vidange (fig. 36).

Le barillet a pour but d'arrêter les goudrons lourds et l'ammoniaque; il sert en même temps de joint hydraulique entre les cornues et les appareils qui suivent. Lorsque l'eau du barillet est par trop chargée de goudrons, on l'évacue, au moyen d'un tuyau de vidange, dans des citernes ou réservoirs, et on la remplace par de l'eau pure.

**Jeu d'orgue.** — Par suite de la température élevée de l'eau du barillet, la condensation du goudron est insuffisante; aussi la complète-t-on le plus souvent dans une série de tuyaux verticaux ou *jeu d'orgue*. On fait circuler le gaz à travers ces conduites d'une très grande longueur; elles sont disposées verticalement, de manière à réduire l'espace occupé. Le refroidissement est produit directement par l'air ambiant, ou en faisant couler par dessus de minces filets d'eau. Le gaz,

qui entre à 55 ou 60°, en sort à 12 ou 15°. Il faut environ 12 à 15 mètres carrés de surface de tuyaux pour 1.000 mètres cubes de gaz, traités en vingt-quatre heures.

On a imaginé de donner à cette surface de refroidissement un développement beaucoup plus considérable, en employant des tuyaux annulaires — système Kirkham — ou des tuyaux en fonte à ailettes, mais le prix du jeu d'orgue devient alors trop élevé.

Le passage brusque du barillet au jeu d'orgue a comme conséquence la condensation d'un grand nombre de carbures très éclairants, car le goudron froid dissout plus facilement les huiles légères. On remédie à cet inconvénient en disposant, à la suite du barillet, au-dessus des fours, des conduits horizontaux ou *collecteurs*. Ces tuyaux condensent les goudrons lourds ; les goudrons légers sont retenus dans les tuyaux du jeu d'orgue.

*Condensateur.* — Il est nécessaire que le gaz soit totalement débarrassé des goudrons ; aussi presque jamais on ne se contente de l'épuration précédente, et on fait passer le gaz dans des appareils spéciaux ou condensateurs. Colladon le premier (1847), a imaginé de forcer le gaz à traverser des fentes étroites, et à le faire heurter contre des surfaces planes placées devant ces fentes. Il se produit une sorte de détente et par suite de refroidissement, qui condense les parties les plus lourdes ; c'est le principe des *condensateurs à choc*.

Pelouze et Audouin avaient apporté une première modification en employant des plaques perforées, placées les unes devant les autres. Elles étaient disposées verticalement, et séparées de quelques millimètres seulement ; mais au bout de très peu de temps, les trous ne tardaient pas à s'obstruer, et à arrêter l'arrivée du gaz. Dans un appareil plus récent, les plaques ont été disposées horizontalement ; elles forment en quelque sorte la partie supérieure d'une cloche renversée sur une cuve à goudron.

Un autre condensateur à choc très employé est celui de Servier. Les tôles perforées sont remplacées par des tiges cylindriques formant rideau, et disposées suivant les génératrices d'un cylindre vertical. Le goudron ne reste plus dans les vides, il coule le long des tiges, et se rassemble au fond de l'appareil (fig. 37). Le fonctionnement de ce condensateur est très régulier.

Dans toute l'épuration précédente, l'ammoniaque renfermée par le gaz

n'a presque pas été enlevée. On a recours, pour s'en débarrasser, à la propriété qu'elle a de se dissoudre dans l'eau. Par la même occasion, un certain nombre de principes solubles sont également enlevés. La dissolution est opérée dans des appareils désignés sous le nom de *condensateur à coke* ou *scrubbers*. Ce sont de grands cylindres verticaux, en général au nombre de deux, contenant 50 à 70 hectolitres de coke.

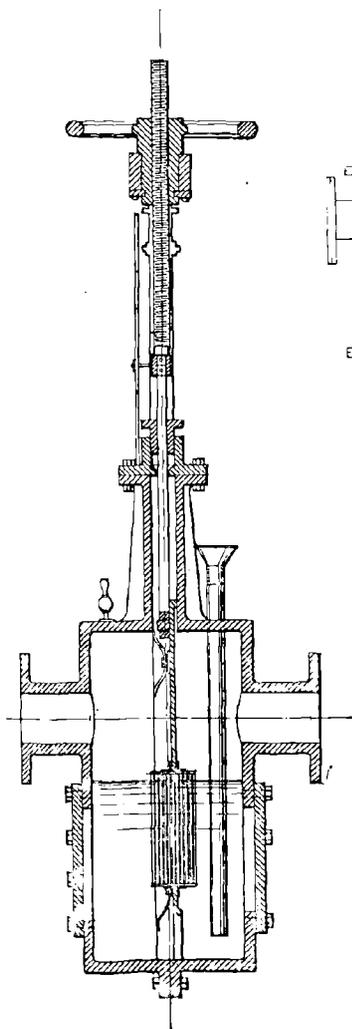


Fig. 37. — Condensateur à choc.

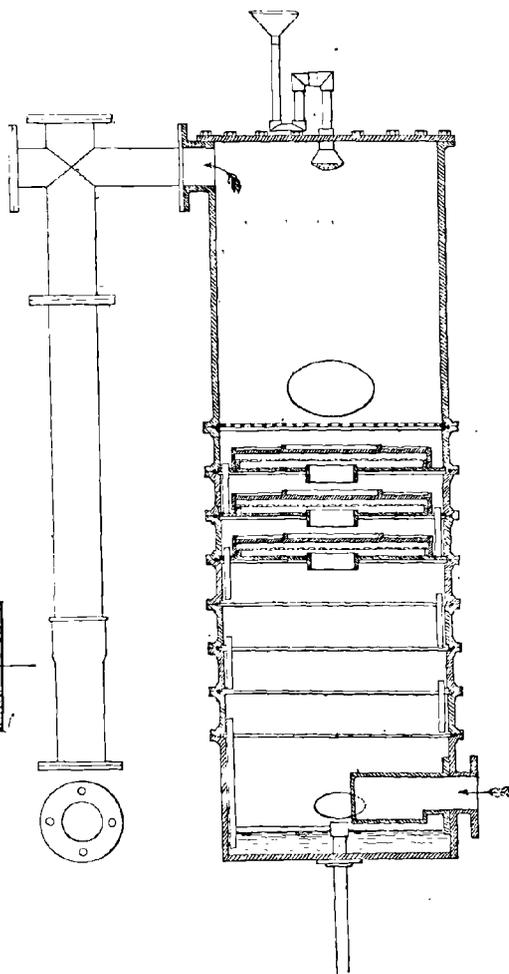


Fig. 38. — Condensateur laveur.

Le gaz arrive par le bas, tandis que par le haut on fait couler de l'eau

qui arrose le coke. Ce lavage méthodique débarrasse le gaz de ses composés solubles dans l'eau. Il faut que la quantité d'eau soit suffisante pour donner un produit bien pur, mais elle ne doit pas être en excès, pour obtenir des eaux ammoniacales assez riches. Ce résultat est assez difficile à réaliser, et l'on y arrive qu'en augmentant la durée du contact du gaz et de l'eau. Cette condition est satisfaite dans le scrubber de M. Chevalet. Le cylindre est coupé par une série de planchers munis de petites cheminées. Chaque plancher est entouré d'un rebord vertical, et forme ainsi une sorte de cuvette que l'on remplit de coke ou de copeaux de bois. L'eau, en descendant, séjourne quelque temps dans le fond de chaque cuvette, et se sature ainsi davantage d'ammoniaque. Le nettoyage de cet appareil est facilité par la possibilité qu'on a de retirer tout le plancher à la fois.

*Condensateur laveur.* — Un grand nombre d'usines ne se contentent pas de cette épuration physique, et, pour la compléter, elles font passer le gaz dans un appareil, qui est en quelque sorte la combinaison des deux condensateurs précédents. On le désigne sous le nom de condensateur laveur (fig. 38). Il a pour but de retenir à la fois l'ammoniaque et le goudron, que le gaz peut encore renfermer.

L'appareil consiste en une série de plateaux horizontaux, munis au centre d'une large ouverture. Ces plateaux sont superposés ; une paroi placée au-dessus de cette ouverture, force le gaz, qui arrive, par le bas à se rabattre horizontalement, et à traverser les orifices de passage ménagés sur la périphérie, où il rencontre une nappe liquide qui coule en sens inverse, et se dirige vers l'ouverture du milieu. Ce lavage, comme celui du scrubber, se fait méthodiquement, c'est-à-dire que le gaz, le plus chargé d'ammoniaque et de goudron, rencontre de l'eau sur le point d'être saturée. Généralement, les plateaux sont surmontés d'une colonne à coke. L'eau est distribuée au moyen d'une pomme d'arrosoir placée dans le haut de l'appareil. Il faut compter sur un volume d'appareil de 0<sup>m</sup>3,3 à 0<sup>m</sup>3,4 pour 100 mètres cubes de gaz fabriqués en vingt-quatre heures; en arrosant alors à raison de 20 litres d'eau par tonne de houille distillée, on obtient de l'eau ammoniacale à 4°.

M. Chevalet a simplifié l'appareil précédent dont le prix d'achat est trop élevé. Les plateaux sont réduits à de simples plaques perforées dont les trous ont de 1 à 3 millimètres de diamètre. Il suffit d'une pression du gaz relativement faible pour empêcher l'eau de tomber par les trous.

Le gaz, en traversant alors cette nappe liquide, s'y débarrasse des dernières traces d'ammoniaque et de goudron. Des registres placés sur chaque plateau permettent de régler le plus ou moins grand nombre d'ouvertures en service. Cet appareil est généralement suivi d'une colonne à coke et se trouve alimenté par l'eau de cette dernière.

Les condensateurs laveurs ne sont pas indispensables, et dans bien des cas, on préfère un gaz un peu moins purifié, mais coûtant meilleur marché.

Le gaz étant débarrassé du goudron et de l'ammoniaque qu'il renferme, on peut l'envoyer à l'épuration chimique.

**Extracteurs.** — Toutefois, dans l'intervalle des deux épurations, on intercale un appareil désigné sous le nom d'*extracteur*. Il a pour but d'aspirer le gaz des cornues pour le refouler dans le gazomètre. Avant l'emploi de l'extracteur, le gaz dans la cornue devait avoir une pression variant entre 0<sup>m</sup>,35 et 0<sup>m</sup>,40 d'eau, pour pouvoir arriver jusqu'au gazomètre. Avec cette forte pression, des fissures ne tardaient pas à se produire, surtout lorsqu'on employait des cornues en terre. Au contraire, lorsqu'elle devenait trop faible, le dépôt de graphite ou charbon des cornues se faisait en plus grande abondance. L'emploi des extracteurs a eu comme conséquence une augmentation dans le rendement de gaz par suite de la suppression de fuites, et une diminution du dépôt de charbon des cornues.

L'idée des extracteurs est due à Graffton, mais Pauwels a été le premier à s'en servir dans son usine d'Ivry.

L'extracteur Pauwels comportait trois cloches animées d'un mouve-

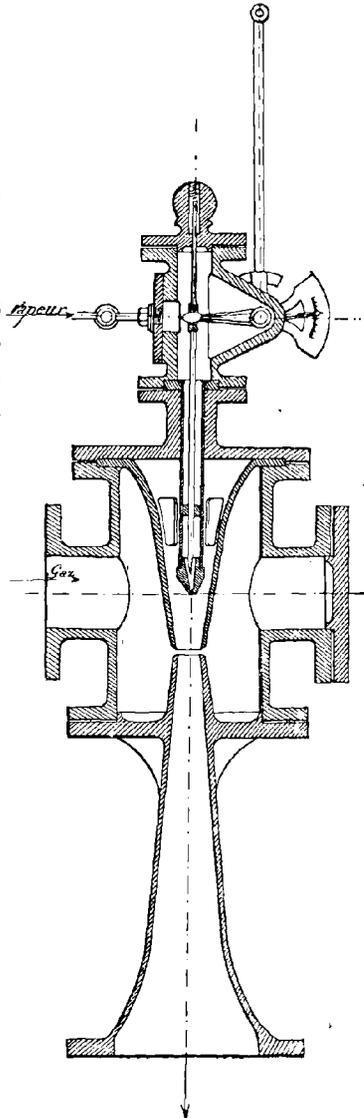


Fig. 39. — Extracteur à jet de vapeur.

ment alternatif. Lorsque les cloches s'élevaient, elles aspiraient le gaz des cornues, qu'elles refoulaient ensuite à leur descente dans le gazomètre. En combinant leur mouvement on arrivait à rendre la circulation du gaz continue. Ce système encombrant a été remplacé depuis par l'extracteur rotatif Beale ou par celui à jet de vapeur de Bourdon-Koerting.

L'*extracteur Beale* n'est autre qu'une pompe rotative. L'aspiration est produite par le mouvement de deux plaques mobiles glissant l'une sur l'autre, et tournant dans un cylindre horizontal. On le place généralement après le jeu d'orgue, car le goudron le lubrifie et aide à la marche de l'appareil. Il tourne à 100 tours environ par minute. Son inconvénient est qu'il nécessite un moteur spécial; aussi est-il moins répandu que l'extracteur à jet de vapeur.

Le principe de ce dernier est basé sur l'entraînement des fluides par la vapeur dont on a fait de si nombreuses applications dans toute l'industrie; c'est en somme le Giffard ordinaire. Son application au gaz est très ancienne. L'appareil est fort simple et d'un fonctionnement très régulier. Il consomme par contre beaucoup plus de vapeur que le précédent: 8 kilogrammes par 1.000 mètres de gaz. Il doit toujours se placer après le condenseur, car le goudron l'encrasse très rapidement (fig. 39).

Les extracteurs devant être des appareils à débit variable, leur installation nécessite l'emploi de régulateurs. Il peut y avoir, en effet, arrêt dans la production, et l'extracteur aspire alors de l'air à travers la cornue, ce qui peut amener la formation de mélanges détonnants; l'aspirateur lui-même peut s'arrêter, le gaz s'accumule alors dans la cornue et peut la faire éclater. Le régulateur, formé le plus souvent par une cloche renversée sur une cuve à eau, agit sur l'admission de la vapeur ou sur des robinets permettant l'écoulement libre du gaz sans passer par l'extracteur.

Ces appareils sont aujourd'hui d'un emploi courant.

**Épuration chimique.** — C'est à la sortie de l'extracteur que commence l'épuration chimique. Elle a pour but de débarrasser le gaz des produits nuisibles, comme l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré que l'épuration physique n'a pu enlever. Elle est basée sur la propriété qu'ont les gaz de se combiner avec certaines substances comme la chaux et les sels de fer pour donner des composés plus faciles à enlever.

Au début, jusque vers 1860, on employait la chaux seule. On la disposait en couches, sur des claies en osier ou en fer; un agitateur permet-

tait de renouveler les surfaces actives de la chaux. La mauvaise odeur qui se dégageait par suite de la formation d'un sel de chaux, le sulfure de calcium, et l'épuration incomplète ont dû faire améliorer ce procédé.

Après plusieurs tentatives, on est arrivé à l'emploi du mélange de *Lamming*, du nom de son inventeur. Cette matière épurante est préparée de la façon suivante.

Une dissolution de sulfate de fer du commerce est versée sur de la sciure de bois, on ajoute de la chaux éteinte et l'on brasse le mélange ; la chaux, réagissant sur le sulfate de fer, donne du sulfate de chaux et du sesquioxyde de fer hydraté, il reste un peu de chaux non employée. La sciure de bois joue le rôle d'éponge. Pour 1 mètre cube de sciure pesant 250 kilogrammes, il faut :

- 4 hectolitres de chaux pesant 180 kilogrammes.
- 3    --    de sulfate de fer pesant 350 kilogrammes.

Un mètre cube de cette matière permet d'épurer 50.000 mètres cubes de gaz.

Le gaz traversant ce mélange agit chimiquement : l'acide sulfhydrique donne avec l'oxyde de fer du sulfure de fer, l'acide carbonique qui a une grande affinité pour la chaux est absorbé en partie.

Il semblerait qu'après avoir été utilisée longtemps, cette matière ne puisse plus resservir. Il n'en est rien. Exposé au contact de l'air, le mélange de *Lamming* a la propriété de se revivifier : le sulfure de fer se transforme en sesquioxyde de fer en abandonnant son soufre.

La matière est disposée en couches de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,70 sur un plancher en bois perforé disposé au fond d'une cuve en fonte ou en maçonnerie. Ces cuves sont fermées par un couvercle en tôle à joint hydraulique. Le gaz arrive à l'un des angles de la cuve à la partie supérieure pour pouvoir traverser la masse, il sort à l'extrémité opposée, à la partie inférieure. En général, ces cuves sont au nombre de quatre situées aux sommets d'un carré ; le gaz passe dans trois de ces cuves ; la quatrième est en préparation. Le centre de l'appareil est occupé par une cloche de distribution à laquelle aboutissent les con-

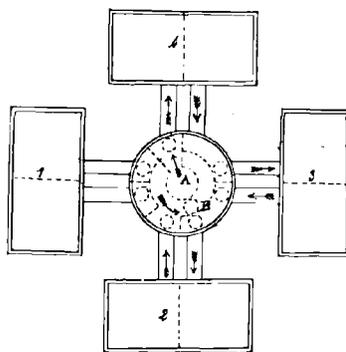


Fig. 40.—Cloche de distribution du gaz aux cuves d'épuration.

duites des cuves et la canalisation générale. Suivant la position de la cloche, on peut mettre en service les cuves que l'on désire (fig. 40).

Le couvercle des cuves étant assez lourd à manœuvrer, on emploie soit un pont roulant, soit une grue à pivot. Dans les grandes usines, par suite de la quantité énorme de gaz produit, il faut revivifier la matière toutes les vingt-quatre heures. On l'expose à l'air dans des hangars spéciaux en couches minces de 15 centimètres. Cette revivification se fait avec un grand dégagement de chaleur et d'odeur désagréable. Lorsque la matière est épuisée, c'est-à-dire au bout d'un assez grand nombre d'opérations, on l'utilise pour en extraire le soufre ou le bleu de Prusse qu'elle renferme.

Le gaz obtenu est alors à peu près pur, il ne doit ni noircir l'acétate de plomb, caractère de l'acide sulfhydrique, ni troubler le lait de chaux, ce qui dénoterait la présence de l'acide carbonique.

Avant de se rendre au gazomètre, le gaz traverse un compteur de fabrication destiné à enregistrer la quantité de gaz fabriqué journalièrement et permettant en outre de connaître la différence entre les quantités de gaz vendu et de gaz fabriqué, c'est-à-dire la valeur des pertes dans la canalisation. Le principe est le même que celui des compteurs d'abonnés. Il diffère de ces derniers par son volume et par l'addition d'organes enregistreurs qui permettent de se rendre compte de la fabrication aux différentes heures de la journée.

**Gazomètres.** — Le réservoir désigné improprement sous le nom de gazomètre est destiné à emmagasiner le gaz fabriqué d'une façon continue. Il est constitué par une cloche renversée sur une cuve à eau.

Cette cuve est construite rarement en bois, quelquefois en tôle ou en fonte et le plus souvent en maçonnerie. Dans ce cas, le radier est formé par un béton et les murs sont en maçonnerie ordinaire. Le tout est recouvert d'une couche étanche de ciment.

La cloche est formée de feuilles de tôle assemblées au moyen de rivets posés à chaud, elles sont recouvertes d'une peinture au minium, la surface extérieure reçoit, en dernier lieu, une couche de goudron. La calotte de la cloche est supportée par une ferme. Lorsqu'elle se remplit de gaz la cloche sort de la cuve, il faut alors la guider pour lui permettre de résister au vent. Le guidage est obtenu au moyen d'une série de rails placés contre des colonnes en fonte ou en maçonnerie reliées entre elles par des entretoises. Les rails sont formés par

des fers à double *té* contre lesquels roulent des galets disposés deux par deux tangentiellement à la circonférence de la cloche, de cette façon cette dernière ne peut subir aucune déformation.

Quand on est limité dans l'emplacement, on est conduit à diminuer le diamètre de la cloche et à augmenter sa hauteur. On a recours alors aux *gazomètres télescopiques* formés par deux ou plusieurs anneaux concentriques s'emboîtant les uns dans les autres. Chaque anneau, à sa partie inférieure, est muni d'un rebord extérieur formant gouttière et rempli d'eau, la partie supérieure est retournée intérieurement. On comprend aisément que, lorsque le gazomètre vient à se développer, les rebords des anneaux voisins pénètrent l'un dans l'autre, et forment joint hydraulique. Lorsque la cloche s'abaisse, les anneaux extérieurs descendent successivement de manière à éviter les fuites. On arrive à ce résultat au moyen de contrepoids équilibrant le gazomètre. Il faut empêcher l'eau de ces joints de geler pendant l'hiver.

Les tubes d'arrivée et de sortie du gaz pénètrent le plus souvent côte à côte au niveau du fond de la cuve en maçonnerie, et débouchent au-dessus de l'eau. Ils sont munis de siphons purgeurs avant d'entrer sous le gazomètre. D'autres fois, on emploie des tuyaux articulés dus à Pauwels, réunis entre eux par des joints spéciaux ou stuffing-box. Les tuyaux débouchent sous la calotte même de la cloche et la suivent dans ses mouvements.

Le volume des gazomètres est très variable, et va de 1.000 à 400.000 mètres cubes.

On s'imaginait au début que le gazomètre était un appareil dangereux pour le voisinage, et pouvait occasionner des explosions. Il fallut la démonstration de Clegg qui, ayant perforé un gazomètre, mit le feu au jet gazeux sans produire aucune explosion. On en vit la preuve concluante en 1870, lors des incendies des usines à gaz d'Ivry et de La Villette: les gazomètres, percés par les obus, laissèrent échapper des gaz enflammés jusqu'au moment où la cloche complètement vide s'affaissa dans la cuve.

Le gaz avant d'être envoyé dans les conduits de la canalisation traverse un compteur d'émission analogue aux autres compteurs.

Avant de suivre le gaz dans ses applications, il convient d'examiner rapidement comment sont recueillis et ce que deviennent les sous-produits: le coke, le goudron et l'eau ammoniacale.

## 2° SOUS-PRODUITS

**Coke.**— Lorsqu'au bout de quatre heures, la distillation est terminée, on trouve dans la cornue un produit incandescent que l'on jette sur le carreau de l'usine et que l'on éteint au moyen d'eau froide, c'est le coke.

Le coke était connu bien avant le gaz, on le préparait spécialement pour les besoins de la métallurgie. D'une couleur gris de fer, il est peu compact, sa texture est spongieuse et hoursofflée. Très poreux, il peut absorber de grandes quantités d'eau, 40 à 50 % de son propre poids, ce qui force à le vendre au volume et non au poids. Sa densité est de 0,40 en moyenne. C'est un très bon combustible brûlant avec éclat, mais sans flamme. Sa teneur en carbone est très considérable, il donne presque autant de chaleur que la houille, dégage peu de fumée, mais demande une température assez élevée pour s'enflammer. Avant d'être livré au commerce le coke est cassé et classé suivant sa grosseur.

Ce combustible est employé surtout pour le chauffage domestique — foyers ouverts et poêles mobiles — pour la cuisson de la chaux, du plâtre, dans les gazogènes, dans les hauts-fourneaux; mais, pour cette dernière application, il est préparé dans des fourneaux spéciaux.

La poussière, provenant du cassage du coke, sert à la fabrication des briquettes, à la cuisson du ciment, à l'alimentation de certains calorifères — foyer Michel Perret.

**Goudron.** — Dans le barillet, et autres appareils de condensation, on recueille les huiles lourdes, qui constituent le goudron. On les rassemble dans des citernes où elles se superposent par ordre de densité. La partie liquide du haut est formée par de l'eau ammoniacale; dans le fond se trouve le goudron noir et visqueux. C'est certainement le produit le plus curieux de la distillation de la houille.

Le goudron est demeuré longtemps sans emploi; on s'en débarrassait à vil prix. Lorsqu'on a connu ses propriétés, une réaction s'est produite; on s'est mis à distiller de la houille dans le seul but de le recueillir. Cette surabondance de fabrication a tout fait rentrer dans l'ordre.

Actuellement, la majeure partie du goudron est fournie par les usines à gaz: ses applications sont multiples. On s'en sert pour préserver de l'humidité certains objets. Sa couleur noire lui permet d'absorber très

bien la chaleur ; aussi l'emploie-t-on très souvent pour couvrir les parois opaques des serres ; il a en outre l'avantage de chasser les insectes par suite de son odeur forte. Il est employé comme antiseptique pour arrêter la pourriture des arbres. Les canalisations d'eau et de gaz sont enduites de goudron qui les préserve de l'oxydation. Cette substance entre dans la confection du carton bitume, du carton pierre, etc.

C'est un corps combustible usité pour le chauffage des cornues à gaz. Le goudron, tombant goutte à goutte sur une dalle chaude, est volatilisé, et les vapeurs enflammées au contact de l'air remplacent les gaz du coke des fours de distillation.

Dans ces dernières années, Dinsmore, en Angleterre, a réussi à extraire du goudron les gaz qu'il renferme. Le procédé avait été essayé avant lui, mais, par suite d'une installation incomplète, il n'avait pas réussi. Voici en quoi consiste l'installation : dans un four à gaz ordinaire, on dispose une cornue avec une tubulure aux deux extrémités ; celle de l'avant communique avec les autres cornues et avec le barillet ; celle de l'arrière est mise en relation avec un réservoir à goudron qui laisse arriver du liquide par petites quantités. Le gaz, s'échappant des autres cornues passe dans la cornue à goudron, où il se charge de carbures éclairants. Avec un four à sept cornues, on arrive à utiliser la moitié de la production du goudron. Le goudron pénètre dans la cornue au moyen d'un entonnoir placé à l'extrémité d'un siphon ; il provient, soit du barillet, soit des citernes. A la longue, la cornue finit par s'encrasser, le goudron dépose une sorte de coke compact et visqueux ; on la nettoie en faisant passer un courant d'air. Le gaz enrichi par ce procédé résiste aussi bien que le gaz ordinaire aux basses températures.

Le goudron, soumis à la distillation fractionnée, donne des produits très intéressants, tels que des huiles légères, des huiles lourdes et du brai.

Les *huiles légères*, dont le point d'ébullition varie de 30 à 180 degrés, renferment en très grande quantité de la benzine, du phénol et d'autres carbures ; leur densité varie de 0,780 à 0,850.

Les *huiles lourdes* renferment, comme les précédentes, des hydrocarbures très riches, de couleur verdâtre et d'aspect visqueux ; leur densité varie de 0,850 à 0,920. A l'état brut, sous le nom de créosote, elles servent à l'injection des bois.

Elles peuvent servir à l'éclairage directement dans des appareils spéciaux. On les mélange alors aux huiles lourdes du pétrole avec les-

quelles elles ont de grandes analogies. Enfin, M. Sainte-Claire Deville a imaginé un foyer pour les utiliser au chauffage. Grâce à ces applications multiples, les huiles lourdes sont devenues un produit très utile.

Le *brai* est le résidu qui reste dans la chaudière lorsque les autres huiles ont été distillées. On le recueille alors dans de grands bassins où il se solidifie. Le brai sert à la fabrication d'agglomérés de toute nature : briquettes de houille, de coke, de sciure de bois ; il entre également dans la confection des bitumes artificiels.

**Eau ammoniacale.** — L'eau ammoniacale est employée dans les usines de produits chimiques à la préparation de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux, en particulier du sulfate d'ammoniac très recherché en agriculture, à cause de l'azote qu'il renferme. Elle est également vendue aux agriculteurs qui s'en servent directement comme engrais. Toutefois, les diverses sources d'eau ammoniacale étant très abondantes, ce liquide n'a qu'une faible valeur.

L'eau ammoniacale clôture la série des produits extraits de la houille qui présentent entre eux les plus grands contrastes et les propriétés les plus différentes. On s'est ingénié à trouver des débouchés à toutes ces substances, et, grâce à un travail continu, elles sont toutes utilisées. Aussi l'industrie du gaz est une des plus prospères, et cette supériorité lui sera longtemps assurée, car c'est d'elle que dépendent une foule d'autres industries toutes aussi importantes et aussi indispensables.

---

### III. — Distribution du Gaz.

---

**Écoulement du gaz.** — Le gaz est consommé à des distances souvent très considérables du lieu de production ; il est distribué alors au moyen de tuyaux dont le diamètre va sans cesse en diminuant à partir du point d'origine. La circulation du gaz dans ces conduites est soumise aux lois de l'écoulement des fluides, dans lesquelles entrent trois quantités importantes : la *pression*, le *débit*, la *résistance*.

La *pression* n'est autre que la force, rapportée à l'unité de surface, qui produit l'écoulement du fluide. Dans le cas du gaz, cet écoulement est obtenu par le poids de la cloche du gazomètre qui, en le comprimant, le force à s'échapper. Dans la pratique, la pression est évaluée en colonne d'eau ; elle se mesure au moyen d'appareils spéciaux, désignés sous le nom de *manomètres*. Un manomètre à gaz est constitué généralement par un tube en U contenant de l'eau ; dans une des branches agit le gaz, et dans l'autre, la pression atmosphérique ; la différence de niveau, évaluée en millimètres, mesure la pression.

Suivant la pression, la vitesse d'écoulement du gaz est plus ou moins considérable ; pour qu'elle ne soit pas exagérée, il faut que la canalisation ait une section suffisante. La quantité de gaz, qui passe au travers de la section dans l'unité de temps, représente le *débit* de la conduite. Il dépend de la dimension de la section et de la vitesse.

L'écoulement du gaz à travers la conduite ne se fait pas sans difficulté. Suivant que les parois sont plus ou moins rugueuses, qu'il y a des coudes brusques, ou des rampes à franchir, la veine fluide circule plus difficilement. L'ensemble de tous ces obstacles constitue la *résistance*. C'est en vertu de la résistance que la veine fluide n'a pas du tout la même pression à l'extrémité qu'au départ ; cette différence de pression constitue ce qu'on appelle la *perte de charge*.

**Régulateurs d'émission.** — Si l'on se contentait de laisser le gaz s'écouler directement dans les conduits sous l'action du poids de la cloche du gazomètre, la pression obtenue serait beaucoup trop forte et

trop irrégulière. Il en résulterait une augmentation des fuites et une fluctuation continue dans l'éclairage. Il est donc nécessaire de pouvoir régulariser cette pression et lui donner la valeur qu'on désire. Ce résultat est obtenu au moyen d'un *régulateur d'émission*. Le principe de cet appareil consiste à intercaler sur la conduite de départ un obturateur qui, en fermant plus ou moins l'orifice de sortie, rend la pression constante dans la canalisation, quels que soient le nombre de becs allumés et la pression du gazomètre. Le mouvement de cet obturateur doit être confié à un organe qui doit suivre exactement les oscillations de la pression que l'on veut maintenir constante.

L'invention du régulateur est due à Clegg (fig. 41). Il est formé par une

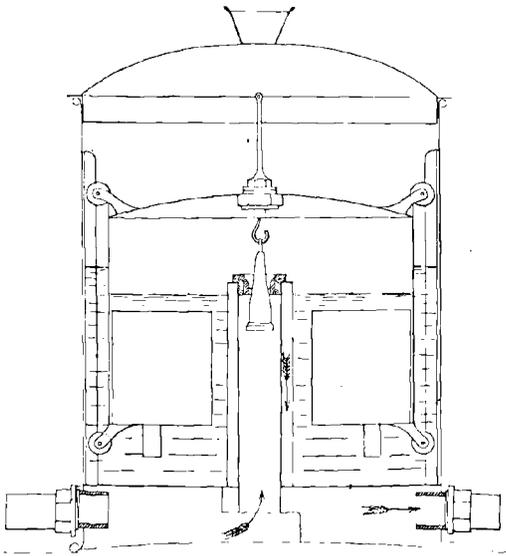


Fig. 41. — Régulateur ordinaire d'émission ou de consommation.

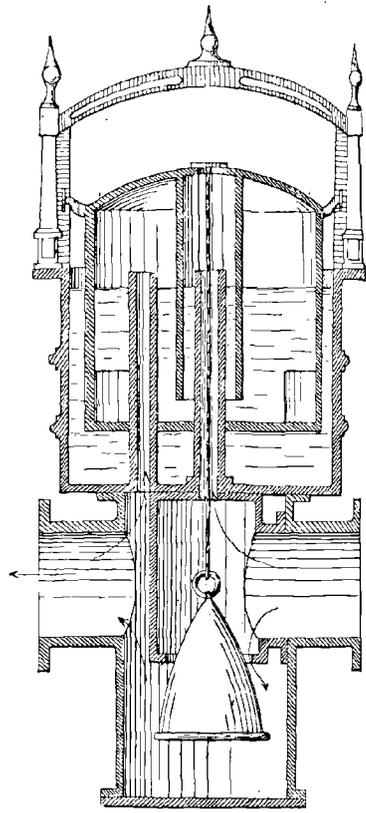


Fig. 42. — Régulateur à pression compensée.  
(Système Siry-Lizars.)

cloche à flotteur renversée dans une cuve à eau et soumise à l'action du gaz après le régulateur. Cette cloche supporte à l'aide d'une tige centrale un obturateur allongé en forme de cône qui vient s'engager dans le tuyau d'amenée. La cloche à la moindre variation de pression dans la conduite se soulève plus ou moins entraînant avec elle l'obturateur qui fait varier en conséquence la section de sortie du gaz.

Il en résulte que, lorsque la pression augmente, l'orifice de sortie diminue et inversement. C'est le poids de la cloche, c'est-à-dire une quantité invariable qui fixe la pression constante dans la canalisation.

Il suffit pour changer sa valeur de modifier le poids de la cloche, ce qui peut se faire par l'addition de poids supplémentaires.

Lorsqu'on veut maintenir constante la pression non plus immédiatement à la sortie du régulateur, mais en un point déterminé du réseau, il faut faire agir sous la cloche la pression en ce point. On arrive à ce résultat au moyen d'un tuyau spécial ou tuyau de retour qui va de l'endroit déterminé à la cloche du régulateur.

La qualité essentielle d'un régulateur est sa sensibilité, elle est d'autant plus grande que la course de l'obturateur est considérable, et que la cloche se déplace aux moindres variations de pression. Le premier résultat est obtenu en donnant à l'obturateur une forme très allongée, et le second en augmentant le diamètre de la cloche.

Le régulateur Clegg présentait un inconvénient; la pression sous la cloche était bien celle de la conduite de sortie, mais le cône était soumis à celle de l'entrée, c'est-à-dire de l'usine; il en résultait que la première tout en étant normale, si celle de l'usine venait à varier, la cloche était forcée de se déplacer.

On corrige ce défaut en employant deux cônes au lieu d'un seul, ou en exerçant sous la cloche une pression égale et de sens contraire à celle agissant sur le cône (système Siry-Lizars) (fig. 42). Dans les deux cas on annule l'action de la pression de l'usine sur l'obturateur.

Les régulateurs d'émission sont souvent groupés dans des salles spéciales ou salles d'émission dans lesquelles une série de manomètres enregistreurs ou *mouchards* indiquent à chaque instant de la journée la pression dans les conduits. Les variations de cette pression sont très importantes, dans le jour elle est très faible, 20 à 30 millimètres d'eau, et le soir, elle atteint 130 à 150 millimètres.

Les régulateurs ne s'emploient pas seulement au départ de l'usine, on en dispose encore dans divers centres de consommation ayant alors pour but de réduire la pression. Il en est de même des indicateurs de pression, la Compagnie Parisienne en a fait installer dans ses divers bureaux, de manière à connaître à chaque instant les incidents qui peuvent se produire dans le service d'un quartier.

**Canalisation.** — Les débuts de la canalisation du gaz sont assez

curieux, on ne se doutait guère de son extension. Aussi se contentait-on de poser des tuyaux en bois goudronné ou en poterie de grès Doullon; mais les joints mal faits ne tardaient pas à se disjoindre, les fuites alors très importantes nécessitaient des pressions considérables pour permettre l'alimentation des points les plus éloignés. Le grès et le bois ont été avantageusement remplacés par la tôle et la fonte.

Les tuyaux en fonte mesurent généralement 2<sup>m</sup>, 50 à 3 mètres de longueur, les diamètres les plus employés sont ceux de 0,040 à 0,600, leur poids varie alors de 12 à 150 kilogrammes par mètre courant. La fonte doit être très homogène, ni trop blanche, ni trop dure, pour éviter les cassures au moindre choc.

L'assemblage des tuyaux se fait par emboîtement (fig. 43). Le joint est rendu étanche par l'emploi de cordes suiffées maintenues au fond du joint par un bourrelet en plomb maté avec soin. Ce joint est très résistant, mais en cas de réparation, il est à peu près impossible de le défaire. Aussi, lui préfère-t-on le joint à brides qui nécessite l'emploi du caoutchouc pour le rendre étanche.

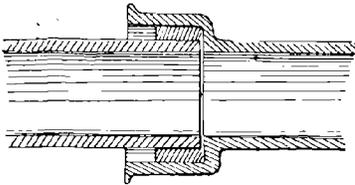


Fig. 43. — Joint par emboîtement.

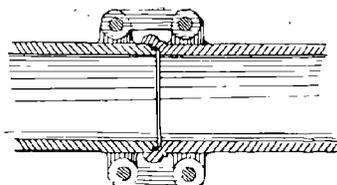


Fig. 44. — Joint à brides.

Il y en a un certain nombre basés sur le même principe parmi lesquels il convient de citer le joint Petit (fig. 44) et le joint Lavril.

On n'est pas très fixé sur la durée du caoutchouc plus ou moins altéré par le gaz. Ce mode de jonction des tuyaux en fonte est très répandu notamment en Belgique où il a donné de bons résultats. Avant d'être mis en service les tuyaux en fonte sont essayés à la presse hydraulique pour s'assurer qu'ils ne présentent aucune fuite.

A Paris, on emploie plus particulièrement les tuyaux en tôle bitumée ou tuyaux Chameroy. Ils sont d'une pose facile et d'un prix de revient peu élevé; de plus les branchements se font sans difficulté. Chaque tuyau est formé de feuilles de tôle étamées et rivées suivant une génératrice. Leur épaisseur varie de 1 à 4 millimètres d'après l'importance du diamètre.

La longueur d'un tuyau est de 4 mètres; il est enduit des deux côtés

d'une mince couche de plomb, et revêtu en outre extérieurement d'une couche très adhérente de bitume. Tous les tuyaux portent leur joint en forme de piston (fig. 45).

Pour assembler deux tuyaux, on fait pénétrer dans l'ouverture d'un des tuyaux l'extrémité opposée de l'autre munie d'une bague en plomb et entourée d'une ficelle enduite

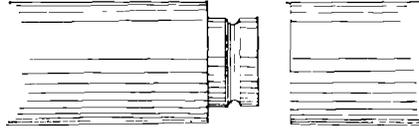


Fig. 45. — Tuyau Chamerois.

d'un corps gras. On enfonce jusqu'à serrage complet. Le joint ainsi formé est très étanche et subsiste sans s'ouvrir à cause de l'élasticité de la tôle qui permet la déformation du tuyau. La surface lisse de cette canalisation présente l'avantage de diminuer le frottement du gaz. On reproche aux tuyaux en tôle de s'oxyder rapidement, mais si la couche de bitume est bien faite, et si la pente est suffisante pour empêcher toute accumulation de l'eau, leur durée est aussi grande que celle des tuyaux en fonte. Le fond de la tranchée sur laquelle ils reposent doit être damé avec soin.

Dans toute distribution, la canalisation est disposée de façon que toutes les conduites se raccordent entre elles de manière à former une sorte de filet. On peut, grâce à cette disposition, isoler une conduite sans arrêter le gaz. Sur la fonte, les branchements sont obtenus au moyen de pièces spéciales préparées à l'avance et désignées sous le nom de tés, doubles tés.

Sur la tôle au contraire, on emploie des raccords en plomb fixés sur la conduite principale au moyen d'un collier. Ces opérations se font aujourd'hui avec une telle facilité qu'on peut opérer un branchement sans soudure, et par conséquent sans feu ; on peut se dispenser alors d'intercepter l'arrivée du gaz pendant la mise en place du branchement.

Les conduites sont enfoncées à des profondeurs variant de 0<sup>m</sup>,80 à 1<sup>m</sup>,20 qui les mettent à l'abri des chocs, des trépidations et des variations de température. Les canalisations atteignent souvent 4 à 5 kilomètres de long et les diamètres principaux mesurent alors 1<sup>m</sup> à 1<sup>m</sup>,80 de diamètre. Les gros tuyaux sont avantageux, à la fois comme prix et comme pose, ils diminuent en outre la perte de charge.

En 1890, la longueur des conduites de la Compagnie Parisienne du gaz s'élevait à 2.230 kilomètres dont 1.494 pour l'enceinte de Paris seule.

D'une façon générale, les conduits ne sont pas absolument étanches,

les pertes s'élèvent à 5 et 6 ‰, elles ont d'autant plus d'importance que la pression est considérable.

L'importance des fuites est indiquée par le compteur d'émission dont les indications accusent une dépense supérieure à celle enregistrée par les divers compteurs d'abonnés. Lorsque la valeur des pertes dépasse les chiffres précédents, il faut procéder à leur recherche.

On peut déceler l'emplacement d'une fuite en déplaçant le long de la conduite, au-dessus du sol, un papier imbibé de chlorure de palladium il noircit sous l'action du gaz. Lorsque la canalisation est par trop longue il faut la sectionner au moyen de *robinets de barrage*. On détermine d'abord la section où ont lieu les fuites, soit en se servant du compteur d'émission pour vérifier successivement la première, la seconde section à partir de ce compteur, soit en prenant une section que l'on remplit de gaz pour s'assurer au moyen d'un manomètre qu'elle ne fuit pas.

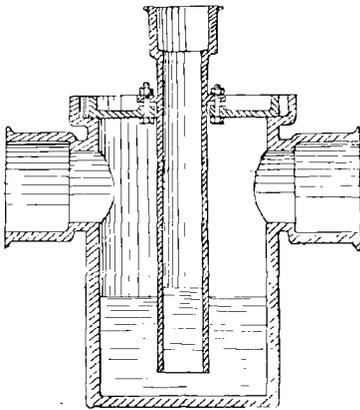


Fig. 46. — Siphon.

ou *siphons* que l'on vide de temps à autre au moyen d'une pompe à main (fig. 46).

**Branchements.** — La canalisation générale étant établie, on branche sur elle les conduites particulières pour l'alimentation des brûleurs, elles sont le plus souvent en plomb, rarement en cuivre. En Allemagne et en Belgique, on les fait en fer, assemblées à la conduite principale au moyen de manchons taraudés, mais le fer a l'inconvénient de s'oxyder rapidement. Lorsque les conduites principales sont en fonte, on les perce mécaniquement et non au burin; le branchement en plomb est maintenu alors au moyen d'un collier (fig. 47).

On remplace souvent les robinets de barrage par un obturateur momentané, formé par une vessie que l'on introduit vide dans la conduite, et que l'on gonfle ensuite d'air.

Il peut se faire également que l'eau s'infiltré dans les tuyaux, elle forme alors un obstacle que la veine fluide franchit difficilement; la flamme des brûleurs saute alors par intermittence, on dit qu'elle danse. On remédie à cet inconvénient en installant de distance en distance des collecteurs d'eau

Le consommateur étant en général différent du producteur, ce dernier doit donc pouvoir, dans certaines circonstances, interrompre l'arrivée du gaz chez l'abonné. Aussi, aux différents points de passage de la canalisation dans les installations privées, on intercale un coffret spécial très étanche et présentant deux ouvertures. L'une sert à l'introduction d'une clef de manœuvre laissée à l'abonné pour lui permettre l'admission ou l'arrêt du gaz. L'autre est destinée à l'introduction d'une clef aux mains

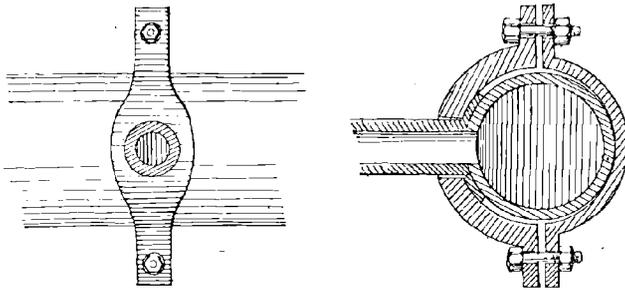


Fig. 47. — Branchement d'une conduite en plomb sur une conduite en fonte.

des agents de la Compagnie, elle sert à ouvrir la porte du coffret, de manière à leur permettre de condamner l'autre serrure, et empêcher ainsi l'abonné de toucher au robinet de la canalisation. Ce coffret a été du reste approuvé par la Préfecture de la Seine. Son emploi n'est pas partout obligatoire, dans bien des cas, on se contente de laisser le plomb apparent de manière à pouvoir l'écraser s'il est nécessaire.

**Compteur.** — A la sortie du coffret de barrage, le gaz se rend dans un compteur destiné à enregistrer la quantité de gaz consommé. Pendant longtemps, les consommateurs purent s'abonner au bec ou à l'heure ; mais ce système présentait de nombreux inconvénients qui se répètent du reste avec tous les modes d'éclairage.

L'abonné n'avait la faculté de brûler du gaz que pendant un nombre d'heures déterminé, l'allumeur impitoyable fermait le robinet de barrage tous les soirs à la même heure. Le consommateur n'avait aucun intérêt à surveiller sa consommation, et à éteindre les becs inutiles. Il lui était interdit de donner aux flammes trop de largeur sous peine de se voir infliger une amende.

Le prix du gaz était beaucoup plus élevé qu'au compteur, 0 fr. 06 par bec et par heure jusqu'à dix heures, et 0 fr. 03 de dix heures à

minuit. Il est vrai de dire que l'abonnement pouvait être pris pour certains jours seulement. La Compagnie imposait bien le genre de brûleur et de cheminée, mais il lui fallait exercer un contrôle sérieux et souvent illusoire pour empêcher toute dépense exagérée.

Toute cette série d'inconvénients a fait généraliser l'emploi du compteur rendu maintenant obligatoire. Les premiers compteurs sont très anciens et remontent à l'installation de l'éclairage au gaz dans les rues de Londres (1808). Le principe consistait à faire passer le gaz sous une cloche cubée avant de l'envoyer dans les brûleurs. L'appareil était constitué par deux cloches renversées sur une cuve à eau, et jumellées entre elles. Le gaz arrivant sous une des cloches la soulevait jusqu'à une certaine hauteur qui correspondait à un volume déterminé, elle venait buter contre un levier qui avait pour but de fermer l'arrivée du gaz sous cette cloche, et de l'ouvrir sous l'autre. A son tour, la deuxième cloche était soulevée, mais dans son mouvement d'ascension elle forçait l'autre à descendre, et à chasser le gaz dans le brûleur. Le mouvement alternatif analogue à celui d'un balancier était enregistré, il suffisait de multiplier le nombre d'alternances par le volume de chaque cloche pour connaître le gaz débité.

Au changement de marche il y avait un léger arrêt qui se traduisait par un soubresaut dans la lumière. Pour le supprimer, on employait trois cloches au lieu de deux, mais alors le compteur était trop volumineux, aussi n'a-t-il pas tardé à faire place au compteur actuel dû à Samuel Clegg et modifié par Crossley.

Ce compteur est basé sur le mouvement de rotation d'un cylindre horizontal, ou volant, divisé en plusieurs compartiments s'emplissant et se vidant alternativement, il suffit d'enregistrer le nombre de tours effectués par ce volant pour connaître à chaque instant le volume de gaz débité.

Le *volant*, qui est la partie la plus importante de l'appareil, est formé par un tambour horizontal en étain durci ou en tôle de fer, divisé en quatre chambres distinctes ou augets par des plans inclinés sur l'axe. Sur une paroi verticale de ce tambour, ou face avant, se trouve disposée une calotte sphérique, par où se fait l'arrivée du gaz. Le tambour ainsi isolé tourne autour d'un axe dans une caisse cylindrique contenant de l'eau. L'orifice d'entrée du gaz dans chaque auget est formé par une fente s'ouvrant dans la calotte, l'orifice de sortie est sur la face opposée et débouche dans la caisse du compteur. Lorsque l'une des ouvertures

est au-dessus de l'eau, l'autre est complètement noyée, il n'y a jamais de communication directe, et chaque auget est bien rempli de gaz avant de le laisser échapper dans la caisse. Lorsque le compteur fonctionne, les cloisons des augets sont soumises à la pression atmosphérique du côté des brûleurs, et de l'autre à la pression du gaz, la différence produit le mouvement de rotation, les augets s'emplissent et se vident alternativement. Le débit est continu, car à peine une chambre est-elle vidée que la suivante a déjà pris sa place. L'entrée du gaz dans la calotte

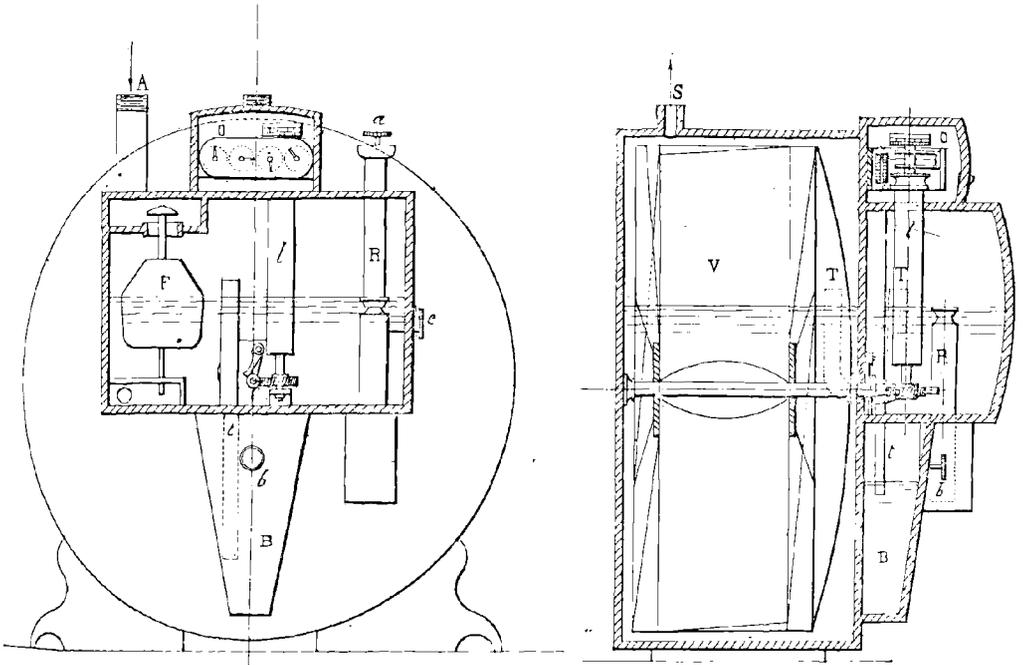


Fig 48. — Compteur à gaz.

A, arrivée du gaz; — S sortie; — Le gaz entre dans le volant V, par l'intermédiaire du siphon TT; — t, tube de vidange du siphon plongeant dans la garde hydraulique B; — b, orifice de vidange de cette garde; — R, régulateur du niveau de l'eau; — a, orifice d'introduction de l'eau; — c, orifice du trop-plein; — Le mouvement du volant V se transmet au cadran o par l'intermédiaire du manchon l; — F, soupape et flotteur pour l'arrêt du gaz.

du volant se fait par un siphon dont les branches s'élèvent au-dessus de l'eau. La branche de départ du siphon débouche dans une caisse spéciale à l'avant du compteur par où arrive le gaz. L'eau, qui pourrait engorger le siphon, est retirée, soit au moyen d'une vis placée au point le plus bas, soit au moyen d'un tube plongeant dans une cuve formant joint hydraulique (fig. 48).

Le mouvement de rotation du cylindre se transmet au moyen d'une vis sans fin et d'une roue horizontale à une série d'engrenages enregistreurs dont le nombre de rotations est indiqué par des aiguilles sur des cadrans gradués. Ces cadrans sont au nombre de trois ou quatre suivant la capacité du compteur. Un tambour horizontal indique les litres, et les cadrans verticaux gradués de 0 à 9 indiquent, en lisant de droite à gauche, les mètres cubes, les dizaines de mètres cubes et ainsi de suite. Le compteur ne doit pas pouvoir rétrograder, à cet effet l'axe de rotation est muni d'une vis à rochet.

Le volume de chaque auget est limité par les parois du volant et par le plan horizontal de l'eau. Cette eau étant entraînée par le gaz, le niveau de ce plan diminue à la longue, il est nécessaire de le régulariser à chaque instant et de le rendre invariable. En effet, s'il est trop haut, le volume des augets est diminué, l'abonné est lésé; s'il est trop bas, c'est l'usine. Ce réglage de l'eau est obtenu au moyen de deux tubes concentriques formant le *régulateur*. Le tube intérieur qui plonge dans l'eau de la caisse débouche à l'extérieur, c'est par là qu'on verse de l'eau. Comme on ne voit pas ce qui se passe à l'intérieur du compteur, on pourrait en mettre en excès, c'est alors qu'intervient le deuxième tube dont l'orifice supérieur affleure le niveau, et par où s'échappe l'eau en excès qu'on peut faire écouler par une vis extérieure.

Ce régulateur se trouve à l'entrée du gaz dans le compteur, et le niveau de l'eau n'y est pas le même qu'à la sortie. Cette dénivellation est produite par l'absorption de pression que nécessite la rotation du volant, réglementairement la différence de pression entre l'entrée et la sortie ne devrait pas excéder 3 millimètres.

Le régulateur agit toutes les fois qu'il y a trop d'eau, par conséquent, en faveur de l'abonné, mais il pourrait se faire que le niveau soit suffisamment bas pour que le siphon ne puisse servir, et que le gaz arrive directement dans la caisse du compteur sans passer par les augets. Cet inconvénient est évité en munissant l'arrivée du gaz d'une soupape mue par un *flotteur* qui suit l'eau dans ses dénivellations, et finit par fermer totalement l'orifice d'arrivée.

L'importance des compteurs est évaluée en becs. On admet pour chaque bec un débit normal de 140 litres à l'heure. Jusqu'à 200 becs environ, on les construit en tôle, au-delà ils sont en fonte. Dans ces derniers, la soupape de fermeture d'arrivée du gaz est supprimée, la

lecture du niveau de l'eau se fait au moyen d'un tube en verre placé sur le côté.

Le point délicat du compteur ordinaire est la dénivellation de l'eau produite par l'évaporation du liquide et qui, non seulement, a comme inconvénient de pouvoir amener l'arrêt complet du gaz, mais encore de donner à chaque instant des mesures inexactes. Pour y remédier, on a imaginé deux sortes de compteurs basés sur des principes différents : maintenir invariable le niveau du liquide, ou permettre l'abaissement de ce niveau sans fausser les mesures. La première disposition est réalisée dans le compteur de M. P. Rouget. Sur le devant de l'appareil, on dispose une bêche avec des chicanes forçant le gaz à se saturer de vapeur d'eau avant de pénétrer dans le compteur. Il faut avoir soin de renouveler assez souvent l'eau de cette bêche. La qualité principale de ce compteur est sa grande simplicité.

Le second principe a été appliqué dans le compteur Siry-Lizars et C<sup>ie</sup>, ou compteur compensateur, il est beaucoup plus compliqué que le précédent.

L'emploi de ces appareils ne s'est pas généralisé, et l'on se contente de visiter plus souvent les compteurs pour renouveler l'eau.

L'emplacement du compteur nécessite certaines précautions. Il faut éviter de le placer dans des sous-sols où le courant gazeux peut être exposé à de brusques refroidissements qui peuvent amener la condensation de certains carbures. Il doit être placé bien horizontalement pour ne point fausser le niveau. Le compteur doit être situé à un niveau inférieur au reste de la canalisation, surtout dans les endroits chauds pour que l'eau entraînée puisse y revenir facilement.

Il peut se faire, en hiver, que l'eau du compteur vienne à geler. Dès lors, la circulation du gaz est interrompue jusqu'à complète liquéfaction. Pour remédier à cet inconvénient, on a proposé de mélanger l'eau à certaines substances pour la rendre incongelable comme l'alcool, la glycérine, certaines dissolutions salines.

Malgré ces quelques défauts, le compteur est un appareil excessivement précis, les erreurs ne doivent pas dépasser 1 pour 100. Avant d'être mis en service, les compteurs doivent être essayés et poinçonnés par des agents spéciaux de la Ville de Paris; il en est de même dans la plupart des villes de province. Les indications fournies par le compteur sont suffisamment exactes pour présenter toute garantie, et à ce point

de vue dans bien des pays, en Allemagne en particulier, on l'assimile aux autres mesures de l'Etat.

En 1847, le gaz était vendu à Paris au prix de 0 fr. 49 le mètre cube, il a été diminué d'un centime par an jusqu'en 1856, où il coûtait 0 fr. 40. Dans le traité de la Compagnie parisienne avec la Ville de Paris, en 1870, le prix du mètre cube fut fixé à 0 fr. 30, chiffre qu'on paie encore actuellement, toutefois la Compagnie est libre de l'abaisser en faveur de certaines industries. Tout abonné est dans l'obligation d'avoir un compteur, pour éviter cette dépense aux particuliers, la Compagnie est autorisée à en fournir en location.

**Éclairage intérieur.** — CANALISATION. — Le gaz, à sa sortie du compteur, est amené aux différents brûleurs au moyen d'une canalisation principale sur laquelle seront pris divers branchements. Sur cette tubulure de départ se place souvent un robinet de barrage; il peut remplir le rôle de régulateur; il suffit pour cela de l'ouvrir plus ou moins. Son emploi n'est cependant pas indispensable.

Les conduites intérieures se font généralement en plomb et quelquefois en cuivre. Le plomb a l'avantage de présenter une plus grande facilité de pose, sa malléabilité permet de lui faire suivre tous les contours des pièces. Les tuyaux sont maintenus au moyen de clous à crochet dont l'intervalle de séparation dépend des dimensions de la canalisation et de sa position. Les conduites doivent toujours être apparentes, et lorsqu'il est nécessaire de traverser une cloison, un mur ou un plafond, le tuyau en plomb doit être renforcé par un manchon en fer ou en cuivre.

Le gaz entraînant toujours avec lui une certaine quantité d'eau, la canalisation doit présenter une pente dirigée du côté du compteur, dans le cas où elle présente des points bas, on les munit de bouchons de vidange. Il est indispensable, pour éviter tout accident, de vérifier de temps à autre l'étanchéité des conduites. L'essai peut se faire en fermant tous les brûleurs moins un qui est remplacé par un manomètre. On ouvre le robinet du compteur, et lorsque la pression est établie, on ferme ce robinet; s'il n'y a pas de fuites, le niveau de l'eau dans le manomètre ne doit pas baisser.

Quant aux dimensions à donner aux conduits intérieurs, elles dépendent évidemment de la nature et du nombre des appareils. On a dressé des tableaux qui donnent le diamètre, tout en tenant compte du frottement dans les conduites. Le diamètre de la conduite principale doit

toujours être majoré en prévision de l'installation de nouveaux appareils.

DISPOSITIONS DES APPAREILS. — Les besoins multiples de la vie intérieure ont forcé les constructeurs à imaginer toutes sortes d'appareils. Mais quelle que soit leur forme, ils sont toujours montés à l'extrémité d'un tube en fer ou en laiton, dont l'autre bout est raccordé à la canalisation en plomb. Cette liaison est toujours obtenue au moyen d'un *raccord* en cuivre coudé à angle droit. On soude le plomb à l'une des branches de ce raccord, l'autre branche taraudée reçoit la tige portant l'appareil. Cette dernière débouche au milieu d'un tampon en bois scellé dans le mur. Ce tampon est caché au moyen d'un disque en laiton que l'on fixe par trois ou quatre vis sur le tampon lui-même.

Lorsque l'appareil d'éclairage est suspendu et qu'il n'y a qu'un brûleur, le tuyau de descente affecte, à son extrémité, la forme d'une *lyre*, une des branches de la lyre est creuse, l'autre ne sert que pour la symétrie. Si cette dernière n'existe pas, l'appareil porte le nom de *lampe de bureau* ou *d'atelier*. Dans le cas où il y a deux brûleurs, on les dispose symétriquement aux extrémités d'une tige horizontale, l'appareil est en forme de *té*. A partir de trois brûleurs, on emploie des *lustres*, dont l'ornementation a alors une grande importance, car ils entrent pour beaucoup dans la décoration des salles. Quelques-uns sont de véritables objets d'art, et atteignent un très grand prix.

Dans certains cas, comme celui d'une salle à manger, par exemple, le brûleur doit pouvoir s'élever à volonté, la tige de descente est formée de deux tubes concentriques dont un fixe et l'autre mobile portant le brûleur. Ils glissent l'un sur l'autre; le joint en étoupe ou en liège graissé doit être fait avec beaucoup de soin.

On doit éviter l'emploi de ces appareils qui donnent lieu à des fuites, et peuvent amener souvent des explosions.

Au lieu d'être suspendu au plafond, le tube d'alimentation peut être fixé contre un mur, il se termine, comme précédemment, par un raccord coudé monté sur un tampon en bois. Le brûleur est fixé à l'extrémité d'un tube horizontal en fer ou en laiton vissé sur le raccord. On désigne généralement cet appareil sous le nom de *bras fixe*. Comme il est employé souvent à l'éclairage des cours, des couloirs, on l'enferme dans une cage en verre appuyée au mur et présentant une porte dans le bas pour l'allumage; l'ensemble constitue un *manchon applique*.

Dans bien des cas, le tube qui porte le brûleur du bras fixe est rendu mobile autour d'un axe vertical, de manière à pouvoir déplacer la flamme dans un plan horizontal. Il est alors formé par plusieurs tubes assemblés entre eux au moyen d'articulations; suivant le nombre des tubes, on a la *genouillère* simple, double ou triple.

Enfin, on doit pouvoir déplacer le brûleur dans tous les sens. On remplace alors les tubes métalliques par un tuyau en caoutchouc qui vient se fixer au raccord de la conduite d'amenée du gaz. L'autre extrémité porte la *lampe mobile*. On doit, avec cet appareil, prendre garde aux fuites qui peuvent se produire aux deux joints.

D'une manière générale, chaque brûleur doit être muni d'un robinet à taquet d'arrêt. On peut, de cette façon, l'isoler du reste de la conduite; le taquet empêche toute méprise dans la fermeture. Chaque fois qu'on veut éteindre tous les appareils, il faut commencer par fermer le robinet de chaque brûleur avant celui du compteur. La fermeture de ce dernier amènerait bien l'extinction totale, sans avoir à toucher aux autres robinets, mais il pourrait se faire que le lendemain on oublie d'allumer un des brûleurs ce qui occasionnerait fatalement une explosion.

Le choix des appareils d'éclairage à l'intérieur des habitations est subordonné à la nature des locaux et à la position des objets à éclairer. C'est ainsi que pour éclairer une table au milieu d'une pièce, il faudra employer une suspension, si au contraire elle est disposée le long de la muraille, on devra recourir à un bras fixe ou à une *genouillère*; il n'y a pas de règle absolue à ce sujet. Quant à l'ornementation des appareils elle devra être en harmonie avec celle du reste de la salle. On trouve dans le commerce un choix suffisant d'appareils. Enfin, la pose des conduites et des appareils, qui constitue l'*appareillage*, devra être faite avec soin, mais encore à ce point de vue le gaz a atteint un certain degré de perfectionnement que l'électricité est loin d'avoir acquis.

GLOBES, RÉFLECTEURS. — A l'intérieur des habitations, presque toujours les becs à air libre et même à cheminée en verre sont entourés d'un globe. Il a pour but de préserver la flamme contre les agitations de l'air ou de concourir à l'ornementation générale et non d'atténuer l'éclat de la lumière. Aussi les globes émaillés n'ont guère leur raison d'être, car ils en absorbent plus de 50 %; leur emploi n'est guère justifié que lorsqu'il s'agit de donner à la source lumineuse une teinte toute spéciale.

Les globes dépolis sont déjà plus avantageux, ils conviennent particulièrement avec les brûleurs à incandescence dont ils diminuent l'éclat en donnant une lumière diffuse plus douce. Enfin, il y a les globes en verre clair dont la forme est très variable, et qui sont employés plus spécialement pour donner de la fixité à la flamme des brûleurs à air libre. On doit se servir plus particulièrement de brûleurs dont la largeur de flamme reste constante, de manière à éviter le bris fréquent des globes. Le mode de suspension de ces globes est très variable. Dans les becs à verre ils reposent directement sur le support de la cheminée, dans les becs à flamme libre, ils sont maintenus au moyen d'un support à griffes à trois branches. L'entretien des globes ne présente rien de bien particulier.

Lorsqu'il s'agit de ramener la lumière dans certaines directions, on a recours à des réflecteurs dont la forme est étudiée en vue de concentrer la lumière aux points déterminés. Ils se font en tôle émaillée, et rarement nickelée, car les produits de la combustion ne tarderaient pas à les noircir. Cependant ces derniers sont employés avec les becs munis d'une cheminée qui évacue les produits de la combustion au-dessus du réflecteur.

Enfin, pour préserver les plafonds des dépôts de noir de fumée que certains brûleurs peuvent laisser échapper, on place au-dessus de ces derniers une petite cloche en porcelaine émaillée ou fumivore. La hauteur du fumivore dépend de la nature du bec, mais elle ne doit pas être très élevée, de manière à bien arrêter le jet des gaz de la combustion et à l'empêcher de se disperser.

**Éclairage extérieur. Éclairage public.** — APPAREILS. — Lorsque les brûleurs sont destinés à être employés en plein air, il faut avoir soin de les enfermer dans des abris en verre pour les protéger contre le vent. Ces abris ou *lanternes* doivent présenter les orifices nécessaires à l'entrée de l'air et à la sortie des gaz brûlés. Il y en a de plusieurs formes et d'un aspect différent suivant l'endroit où l'on doit les employer.

Les lanternes les plus simples affectent la forme d'un tronc de pyramide renversé à quatre faces planes surmonté d'un deuxième tronc de pyramide plus petit recouvert d'un chapiteau. Les diverses faces sont garnies de verres glissants dans les montants de la lanterne. Quelquefois les verres de la partie supérieure sont remplacés par des plaques

de tôle. L'une des faces forme porte pour le nettoyage de l'intérieur de la lanterne ; le fond est muni d'une petite porte ou trapillon constitué par un treillis métallique, il sert à l'introduction de la lampe d'allumage ; un contrepoids extérieur tend à le tenir constamment fermé.

A Paris, pour l'éclairage des rues, on emploie des lanternes de forme tronconique ; les verres sont bombés et maintenus par les montants sur lesquels ils sont fixés au moyen de mastic. Comme précédemment, l'un des verres est mobile, le fond est également fermé par un trapillon pour l'allumage, mais au lieu de se déplacer de bas en haut, il glisse horizontalement. Un chapiteau en tôle muni d'un réflecteur préserve le brûleur contre la pluie.

Ces lanternes sont plus dispendieuses que les précédentes, à cause du remplacement des verres bombés d'un prix plus élevé, mais leur aspect est assez gracieux, d'autant plus que les montants et le chapiteau sont ornementés en conséquence.

SUPPORTS DES LANTERNES. — Les lanternes peuvent être suspendues, et c'est le cas des appareils d'éclairage des passages couverts ou de la devanture des magasins. Le tube d'amenée du gaz supporte alors le poids de la lanterne. Lorsque le brûleur n'est pas à flamme en dessous, la tige de descente est dirigée à l'intérieur le long d'un des montants et ramenée ensuite au milieu de l'appareil où elle se raccorde au brûleur. Cette disposition a pour but de diminuer l'ombre portée.

Le plus souvent les lanternes sont montées à l'extrémité d'une colonne fixe ou *candélabre*. L'éclairage des rues est assuré de cette façon ; les candélabres sont disposés au milieu de la chaussée ou sur les trottoirs. Lorsque les rues sont par trop étroites, pour ne pas gêner la circulation, on emploie des *candélabres consoles* accolés aux murs ou simplement des *consoles* formées par un support horizontal scellé dans le mur, et supportant la lanterne à son extrémité.

Les candélabres sont généralement en fonte, le fut de la colonne est creux, quelquefois il est venu de fonte avec la base, mais le plus souvent il est rapporté sur cette dernière et maintenu au moyen de vis. Au début, le candélabre formait conduite d'amenée du gaz au brûleur, mais par suite du grand nombre de fuites qu'il présentait on a préféré disposer à l'intérieur une conduite en plomb, branchée directement sur la canalisation de la rue. Pour maintenir la colonne, et lui permettre de résister aux chocs, on la place sur un socle en pierre ou en briques, percé d'une fente longitudinale pour recevoir le tuyau de plomb. La lanterne repose

sur le chapiteau de la colonne par l'intermédiaire d'un croisillon. Le plomb se soude à l'extrémité d'un raccord en cuivre fixé par des vis sur la tête du candélabre, à l'autre extrémité de ce raccord se visse la *chandelle* ou tube en laiton portant le brûleur et le robinet. La chandelle présente un renflement qui serre le croisillon directement ou par l'intermédiaire d'un écrou sur la tête du candélabre. Cet assemblage est très résistant.

La hauteur d'un candélabre varie depuis 2<sup>m</sup>,50 jusqu'à 4 mètres, on les espace généralement de 20 à 40 mètres, mais ces chiffres n'ont rien d'absolu car ils dépendent à la fois de l'intensité du brûleur et de l'endroit à éclairer. On recouvre les candélabres d'une couche de peinture qui protège la fonte contre l'oxydation, ceux de l'intérieur de la Ville de Paris sont galvanisés, l'entretien en est plus difficile, mais leur aspect est plus satisfaisant.

Les candélabres consoles employés plus spécialement pour l'éclairage des rues étroites, diffèrent des candélabres ordinaires en ce qu'ils sont munis vers le haut d'un retour d'équerre destiné à supporter la lanterne. Ils sont plus hauts que les candélabres ordinaires, le tuyau en plomb est logé dans le corps de la colonne.

Les consoles sont scellées dans le mur; ce scellement doit être assez résistant, car il doit pouvoir supporter le poids de l'ouvrier chargé de nettoyer la lanterne, on doit le vérifier de temps à autre. Cette dernière est fixée sur la console de la même manière que sur un candélabre. Le tuyau de plomb amenant le gaz au brûleur est noyé dans la maçonnerie de la façade, mais cette disposition a un inconvénient grave, elle peut amener la présence du gaz dans l'intérieur des habitations, et à ce point de vue le candélabre console est préférable, bien que son installation soit plus coûteuse.

Les appareils destinés à l'éclairage public sont branchés directement sur la canalisation de la rue sans passer par un compteur, la consommation est estimée suivant la nature du bec après avoir été fixée d'après un brûleur type. Dans le cas de consoles, on intercale souvent sur la conduite en plomb un coffret avec son robinet de barrage identique à celui de prise de gaz pour les particuliers, il permet de couper la conduite en cas d'incendie, toutefois son emploi n'est pas indispensable.

Chaque brûleur est muni d'un *robinet bascule* dont la clef est facile à manœuvrer avec la perche d'allumage, elle présente à cet effet un anneau à son extrémité. Le robinet est porté par la chandelle même, c'est-

à-dire qu'il se trouve dans l'intérieur de la lanterne. Cette disposition a comme avantage d'empêcher le dépôt de naphthaline qui ne manquerait pas de se produire en hiver à l'endroit du robinet s'il était à l'extérieur.

Avant l'exposition de 1878, sur les places publiques et dans les carrefours, on disposait des candélabres à deux ou trois branches, pouvant supporter jusqu'à cinq lanternes. Ces appareils, très coûteux d'installation, utilisaient mal la lumière, il y avait trop d'ombre portée. Aussi, depuis l'apparition des brûleurs intensifs, le nombre n'en a pas été augmenté.

En résumé, on doit employer des candélabres avec des brûleurs aussi intensifs que possible, toutes les fois que l'espace à éclairer le permet. Lorsqu'il devient trop étroit, on doit se servir des candélabres consoles que l'on remplace par des consoles lorsqu'on est limité dans le prix de l'installation. L'ornementation de ces appareils doit être en rapport avec l'endroit à éclairer. Quant aux lanternes, elles doivent être disposées de manière à rendre l'allumage très rapide ; leur entretien doit être facile.

Il est très avantageux, pour les espaces découverts, de les choisir avec un chapiteau opaque formant réflecteur, on diminue à la fois et le bris des verres et les pertes de lumière qui se produisent toujours avec les lanternes munies de verre sur toutes les faces. L'entretien de ces appareils ne présente rien de particulier ; les parties métalliques peuvent être repeintes tous les ans, mais les verres doivent être essuyés tous les jours.

Depuis quelque temps, à Paris, on dispose au-dessus des portes d'entrée de quelques maisons, des lanternes ou *numéros lumineux*, elles présentent deux faces inclinées en verre sur lesquelles on inscrit le numéro de la maison que l'on peut lire alors plus facilement. Moyennant une rétribution, elles sont entretenues et allumées par les soins du personnel de la Compagnie du gaz.

Quelques chiffres montreront l'importance que peut prendre l'éclairage public dans une ville comme Paris. En 1892, le nombre des becs s'élevait à 72.170, dont 62.070 dans l'enceinte de la capitale et 10.100 dans la banlieue. Tous ces appareils sont visités chaque jour, il y a un agent spécial chargé de l'entretien, de l'allumage et de l'extinction de 63 à 70 lanternes.

---

## VI. — Brûleurs.

---

**Propriétés du gaz.** — Les brûleurs constituent la partie la plus importante de l'éclairage au gaz; mais, avant de les passer en revue, il est nécessaire de connaître les propriétés du fluide employé à la production de la lumière.

Le gaz est un fluide incolore, d'une odeur forte, due à la présence de quelques carbures. Cette odeur ne constitue pas un inconvénient; c'est une cause de sécurité, car elle permet de déceler les fuites qui peuvent se produire. Sa densité varie de 0,300 à 0,420. Il est très combustible et brûle au contact de l'air avec une flamme jaune plus ou moins brillante, suivant la proportion d'air. Avec un excès de ce dernier, on peut arriver à rendre la flamme incolore; la diminution du pouvoir éclairant est alors compensée par une augmentation de la puissance calorifique. Il faut 3 volumes  $1/2$  d'air pour brûler complètement 1 volume de gaz.

Lorsque les deux fluides se trouvent mélangés dans certaines proportions, ils peuvent donner naissance à des mélanges explosifs. Le pouvoir détonnant varie avec la quantité de gaz; à 3 %, il commence à devenir dangereux; il atteint son maximum dans le voisinage de 11 volumes d'air pour 1 de gaz. Il suffit alors de la moindre étincelle ou du contact d'un corps incandescent pour produire l'explosion. Aussi ne saurait-on trop recommander de ne jamais pénétrer avec une lumière dans un endroit où il peut y avoir du gaz accumulé, comme dans le bâtiment d'un compteur par exemple. Pour la même raison, la recherche des fuites par le flambage, c'est-à-dire par inflammation directe du jet gazeux, est un procédé dangereux.

La puissance lumineuse du gaz est due aux particules de carbone contenues dans la flamme; elles proviennent de la décomposition des hydrocarbures. Il y a intérêt à en avoir une très grande quantité, mais il ne faut pas cependant qu'elles soient en excès, car une partie s'échapperait alors à l'état de fumée. Pour augmenter la teneur en carbone d'une flamme, il faut débiter le gaz sous une forte épaisseur et une

faible vitesse. La première des conditions a pour effet d'empêcher la veine fluide d'être mise en contact immédiatement avec l'air; la seconde, de permettre au carbone de rester un certain temps dans la flamme avant d'être brûlé.

Pour obtenir avec le gaz une source lumineuse intense, il faut joindre à ces deux conditions celle de la température; en effet, tous les corps solides, pour émettre des rayons lumineux, doivent être portés à une certaine température; plus cette dernière est élevée, plus leur pouvoir éclairant est considérable. Cette remarque s'applique au carbone contenu dans la flamme du gaz d'éclairage.

En résumé, un brûleur à gaz doit satisfaire aux trois conditions précédentes, c'est-à-dire débiter le gaz sous une forte épaisseur et une faible vitesse, et le brûler à la température la plus élevée. On verra, par la suite, que tous les appareils sont loin de les réaliser, et que toutes les améliorations ont été la conséquence de l'application de ces trois règles. Dans tout brûleur, la quantité de gaz consommé dépend des dimensions de l'orifice de sortie et de la vitesse d'écoulement; il suffit d'agir sur un de ces deux facteurs pour faire varier la consommation, et obtenir les conditions d'épaisseur et de vitesse convenables.

Au sujet du débit, on doit faire la remarque suivante : c'est qu'un brûleur, établi pour un gaz déterminé, ne convient pas pour un autre; en effet, les quantités de gaz, qui s'échappent par un même orifice, et sous la même pression, sont proportionnelles aux racines carrées de la densité. Mais cette observation n'influe en rien sur les conditions précédentes, qui ne sont modifiées que par la richesse du gaz en hydrocarbures éclairants. On comprend en effet que l'épaisseur de la veine fluide devra être plus considérable avec un gaz pauvre qu'avec un gaz riche, il en est de même de la pression.

Le nombre des becs de gaz est assez considérable, mais on peut les classer dans cinq groupes bien distincts :

- 1° Becs ordinaires à air libre;
- 2° Becs intensifs à air libre;
- 3° Becs intensifs à air chaud;
- 4° Becs à incandescence;
- 5° Becs à gaz carburé.

Cette classification n'a rien d'absolu, elle ne sert qu'à faciliter l'étude des appareils à gaz.

## 1° BRULEURS A AIR LIBRE

Le premier bec imaginé consistait en un simple trou percé sur la conduite principale; il fut ensuite isolé au moyen d'un robinet qui le rendait indépendant; sa flamme rappelait celle de la bougie. Plus tard, le trou fut remplacé par une fente qui permettait d'augmenter les dimensions de la flamme: c'est le bec fendu ou papillon. On parvint dans la suite à produire la flamme plate au moyen de deux trous inclinés l'un par rapport à l'autre. Cette disposition donna le bec Manchester. Enfin, dans l'intervalle, le bec Argand fut appliqué à l'éclairage au gaz, et il fut désigné sous le nom de bec à double courant d'air ou de bec à verre, à cause de la cheminée nécessaire à son fonctionnement. Ces types de brûleurs, à *trou* ou *bougie*, *papillon*, *Manchester* et à *double courant d'air*, sont les plus anciens; ils sont antérieurs à l'Exposition de 1878. Leur caractère particulier est leur grande simplicité qui justifie leur emploi actuel, mais, d'une manière générale, ce sont des brûleurs d'intensité et de rendement peu élevés.

**Bec bougie.** — Le bec bougie est constitué par un bouton sphérique en métal percé d'un trou circulaire dans le prolongement de l'axe de la conduite. La flamme obtenue a la forme d'un fuseau allongé comme celle d'une bougie: c'est un brûleur à faible dépense, mais d'une intensité lumineuse restreinte. On peut vérifier avec ce bec l'avantage qu'il y a à débiter le gaz sous une forte épaisseur et une faible pression; le rendement lumineux croît pour une même pression avec les forts diamètres qui varient de 0<sup>mm</sup>,5 à 3<sup>mm</sup>,5. L'intensité maximum, qui est de 0c,89, est atteinte avec un diamètre de 2 millimètres, correspondant à un débit de 130 litres à l'heure. La hauteur de flamme mesure alors 30 centimètres, chiffre beaucoup trop fort pour être admis dans la pratique. Comme on se propose d'avoir une flamme identique à celle de la bougie, on réduit la hauteur à 10 centimètres; la pression est alors de 2 millimètres, et la dépense de 34 litres à l'heure; il est vrai que l'intensité lumineuse n'est plus que d'un cinquième de Carcel.

Ces becs jouissent d'une propriété curieuse; pour une même hauteur de flamme, la consommation est constante et indépendante du diamètre du trou.

Ils sont généralement montés sur des lustres, des girandoles, des appliques. Souvent le tube d'arrivée du gaz est entouré d'un cylindre métallique peint en blanc, dont l'aspect rappelle la bougie ordinaire.

On a construit des becs bougies à deux et trois trous, suffisamment rapprochés pour que leurs flammes se confondent; il n'y a pas d'intérêt à employer cette disposition, car le rendement lumineux est le même que s'ils étaient séparés. Le bec bougie est un appareil peu économique dont l'emploi doit être restreint à des éclairages spéciaux.

**Bec papillon.** — Le bec papillon est formé par un bouton sphérique creux, muni d'une fente régulière par où s'échappe le gaz en donnant naissance à une flamme en éventail. L'importance du bec dépend du diamètre du bouton et de la largeur de la fente; cette dernière varie de  $2/10$  à  $7/10$  de millimètre, et sa valeur se trouve indiquée par des rainures figurées sur le corps du bec, et en nombre égal aux fractions de millimètre (fig. 49).

Comme précédemment, les fentes larges et les faibles pressions sont avantageuses : ces deux conditions servent à expliquer les résultats des observations faites sur les becs papillons.

On peut remarquer tout d'abord que le pouvoir éclairant augmente avec le gaz consommé. Or, pour un bec papillon donné, le débit croît forcément avec la pression, puisque l'orifice de sortie reste le même. Ce bec sera donc bien utilisé lorsqu'il fonctionnera avec le maximum de pression qu'il peut supporter, car au delà, la vitesse d'écoulement étant trop considérable, le gaz s'échapperait sans être brûlé. La conséquence de cette première remarque est qu'on doit donner la préférence aux becs à forte consommation.

Toutefois ce brûleur, quoique bien utilisé, ne donnera pas un aussi bon rendement lumineux que le bec à fente plus large qui, pour un même débit de gaz, exigerait une pression moindre. Il en résulte qu'on ne doit jamais chercher à employer un de ces brûleurs pour produire son maximum d'effet utile, mais bien pour fonctionner à une consommation inférieure.

Le bec de  $7/10$  est le plus avantageux; il donne la Carcel avec 120 litres de gaz. Dans la pratique, on s'éloigne un peu de ces résultats. La flamme du brûleur de  $7/10$ , dans les conditions, même les plus favorables, est vacillante et ne résiste pas aux courants d'air. On lui préfère le bec de  $6/10$ , quoique d'un rendement lumineux inférieur, mais dont la flamme est plus résistante.

Comme les becs bougies, ces brûleurs ont une propriété spéciale, la hauteur de flamme est constante, la longueur augmente de un centi-

mètre par 20 % d'accroissement de consommation ; ils sont employés à l'éclairage des rues et de tous les espaces en plein vent.

On a essayé des becs à deux fentes parallèles, à trois fentes radiales (bec Danischewski), à deux têtes, mais les résultats sont identiques à ceux que donnent un papillon de mêmes dimensions, aussi cette complication a-t-elle été abandonnée.

**Bec Manchester.** — Le bec Manchester est formé par un cylindre terminé à la partie supérieure par un disque dans l'épaisseur duquel on a ménagé deux trous inclinés. En s'échappant par ces trous, les veines gazeuses viennent se rencontrer, et produisent, en s'aplatissant l'une contre l'autre, une flamme plate analogue à celle du papillon, mais plus haute (fig. 50). Le diamètre des trous varie de 0<sup>mm</sup>,5 à 1<sup>mm</sup>,5. On vérifie encore les avantages de la consommation à faible pression et à grand débit. Avec des manchesters, dont le diamètre des trous est inférieur à 1 millimètre, le pouvoir éclairant est égal à la somme de ceux de deux becs bougies correspondants, c'est-à-dire que le rendement est mauvais. Mais si le diamètre augmente, le rendement croit de 30 %.



Fig. 49

Bec fendu ou papillon (n°5)

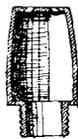


Fig. 50

Bec Manchester (n° 5)



Fig. 51

Spar-brenner



Fig. 52

Manchester fendu

On vérifie encore la loi de la consommation, c'est-à-dire que pour un même appareil, le maximum d'effet utile a lieu avec la plus grande consommation, et que pour deux brûleurs différents, celui qui, à consommation égale, exige le moins de pression est plus avantageux. Avec un manchester dont le diamètre des trous varie de 1 millimètre à 1<sup>mm</sup>,5, on obtient généralement la carcel avec une consommation de 137 litres de gaz à l'heure et 8 millimètres de pression, il est donc inférieur au bec papillon.

Le manchester se différencie du papillon par la constance de la largeur de sa flamme, la hauteur seule augmente, il a en outre l'avantage de faire entendre un sifflement lorsque la consommation, c'est-à-dire la pression, devient exagérée.

On l'emploie pour les éclairages en plein vent, mais non pour l'éclairage public, car outre son rendement inférieur à celui du bec papillon, il est d'un entretien plus difficile. Il sert surtout pour l'éclairage des salles publiques. On l'entoure alors d'un globe en verre.

Entre le bec manchester et le bec papillon, on trouve une série de becs ayant les propriétés de l'un et la forme de l'autre.

Dans le brûleur dit *spar-brenner*, le bouton, d'épaisseur uniforme, a sa sphère intérieure évidée, la fente est pratiquée suivant un demi-grand cercle. La hauteur et la largeur de la flamme croissent avec le débit; quand on pousse trop loin la dépense, deux petites cornes se détachent de la flamme et avertissent de sa consommation exagérée (fig. 51). Ce bec est très employé en Allemagne.

Dans le *manchester* fendu, la sphère n'est pas évidée intérieurement, mais la fente est faite suivant un demi-grand cercle; quoique ayant l'apparence d'un bec fendu, la hauteur de la flamme croît seule avec le débit (fig. 52).

Les becs précédents se font en fonte, mais comme ils s'oxydent très rapidement, il faut nettoyer fréquemment la fente ou les trous; cette opération constitue l'épinglage beaucoup plus facile avec les papillons qu'avec les becs manchesters.

Pour éviter cet inconvénient, Schwartz de Nurenberg a imaginé de les faire en terre réfractaire ou stéatite. L'oxydation étant supprimée, l'entretien est très facile, par contre, ils sont plus fragiles. On nettoie alors ce bec fendu avec des feuilles de carton suffisamment minces. L'emploi de la stéatite diminue également l'oxydation du porte-bec, car cette substance est mauvaise conductrice de la chaleur.

Pour les rampes d'illumination, on fait les brûleurs en bronze, s'oxydant moins à l'air que la fonte et par conséquent nécessitant moins d'entretien. Tous ces brûleurs se vissent sur le porte-bec; avec la stéatite, il est nécessaire de mastiquer le joint avec du plâtre pour le rendre étanche.

Les brûleurs précédents sont alimentés avec de l'air froid en excès, il n'est pas possible de doser la quantité d'air strictement nécessaire à la combustion, d'où il résulte que la condition de l'accumulation du carbone dans la flamme n'est pas réalisée; le rendement se trouve donc diminué d'autant. Ils ont par contre comme avantage leur prix d'achat peu élevé, leur allumage facile et leur entretien très restreint, aussi, sauf les becs bougies, leur emploi est général.

**Bec à double courant d'air.** — Il était tout indiqué d'appliquer le bec Argand à l'éclairage au gaz ; les premiers appareils étaient formés par deux tubes métalliques concentriques réunis à leur extrémité supérieure par une rondelle métallique percée de trous par où s'échappait le gaz, la partie inférieure était fermée. L'ensemble de cette couronne était supporté par deux tubes formant fourche et amenant le gaz. Tout autour, une galerie métallique maintenait une cheminée en verre destinée à donner de la fixité à la flamme, et à augmenter le tirage. L'air affluant autour de la flamme, la combustion est complète.

M. Maccaud imagina d'envelopper la partie inférieure de la couronne d'un cône renversé en toile métallique ou panier pour laminer l'air, et doser ainsi en quelque sorte la quantité nécessaire à la combustion. Il eut l'idée en outre d'accroître l'action du courant d'air extérieur en le dirigeant sur la flamme au moyen d'un cône métallique. C'est sur ces données qu'ont été faites toutes les modifications apportées depuis au bec à double courant d'air (fig. 53).

Le bon fonctionnement du brûleur dépend du diamètre des trous, de leur nombre, de la distribution de l'air (cône et panier), et enfin de la cheminée.

*Diamètre des trous.* — Chaque trou joue le rôle d'un bec bougie, les observations faites à propos de ce bec sont encore applicables ici. Plus le diamètre est large, meilleur est le rendement, avec des dimensions de 6/10 à 8/10 de millimètre, on obtient la carcel avec 105 litres de gaz. On vérifie également que le maximum d'effet utile est atteint avec le plus grand débit, mais alors l'appareil devient trop sensible et se met à fumer au moindre excès de pression. Cette dernière ne doit guère dépasser 4 millimètres.

*Nombre de trous.* — Quant au nombre de trous, il doit être aussi grand que possible, s'ils sont trop espacés, l'air pénètre dans l'intervalle de deux jets, la combustion est trop considérable, et le pouvoir éclairant est diminué. C'est pour cela que le bec à 30 jets est supérieur à celui à 20, et qu'un bec à 12 a la même consommation qu'un bec à 20 jets. A force de multiplier le nombre de jets, on est arrivé à leur substituer une fente unique. Le premier des becs à fente de ce genre est dû à M. Parisot. Il consistait en deux tubes concentriques vissés l'un sur l'autre ; l'entretien en était très facile. La largeur de la fente peut atteindre facilement 1 millimètre, mais alors la flamme est trop molle, et pour augmenter sa fixité, il faut recourir à l'emploi du cône directeur.

*Distribution de l'air.* — La distribution de l'air a une très grande importance. Le gaz ordinaire brûle complètement avec cinq fois et demie son volume d'air, un excès s'échauffe inutilement sans produire d'effet. On a donc tout intérêt à n'employer que le strict nécessaire correspondant à la consommation. Toutefois, on est si peu habitué à la flamme obtenue de cette façon qu'il semble qu'elle fume; on ferme un peu le robinet, la conséquence est la diminution du débit de gaz, et il y a de nou-

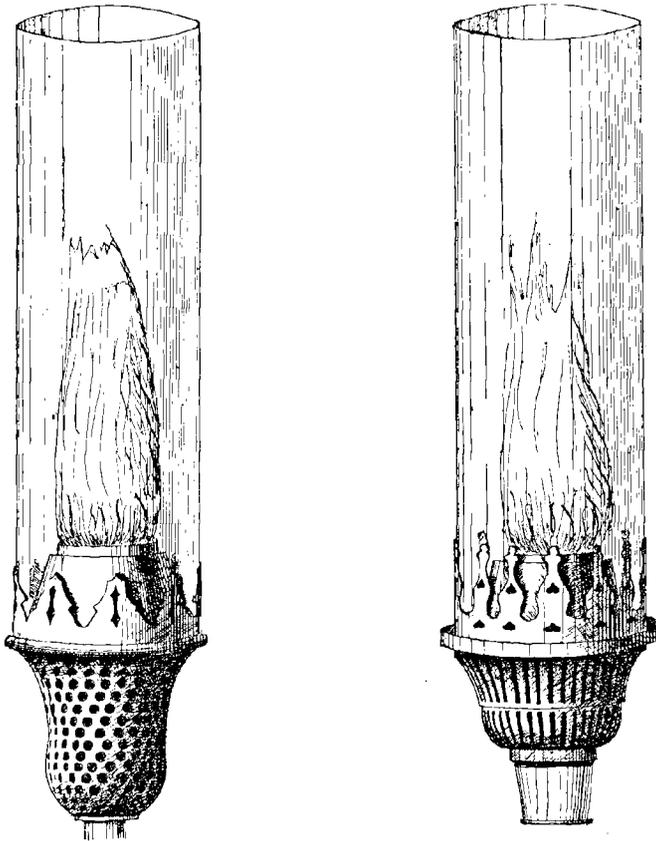


Fig. 53. — Becs à Verre.

Les prises d'air, dans le cône en porcelaine, pour les deux courants extérieur et intérieur, ne sont pas distinctes.

Les prises d'air des courants intérieur et extérieur sont séparées par un diaphragme.

veau excès d'air. D'un autre côté, si au moment où l'admission d'air était juste suffisante, il y a augmentation de pression, le bec se met à fumer. On voit qu'il est impossible de maintenir la proportion exacte, et qu'il faut se contenter d'une certaine approximation.

La quantité d'air admise est mesurée par les trous du panier. Dans le bec Maccaud, ce panier était formé par une toile métallique à fentes longitudinales. Marini imagina de diviser ce panier en deux parties dont chacune admettait l'air nécessaire aux deux courants intérieur et extérieur. C'est sur le même principe qu'a été établi le bec Elster de Berlin. Le panier est en cuivre, l'air destiné au courant d'air intérieur pénètre par les fentes inférieures, l'air du courant extérieur par les fentes supérieures, ils n'ont aucune communication entre eux et on peut empiriquement déterminer leurs dimensions. Le bec Elster donne la carcel avec 89 litres. Les paniers métalliques ont l'inconvénient de s'encrasser et de nécessiter un nettoyage fréquent.

Bengel, en France, a remplacé le cuivre par de la porcelaine, au lieu de fentes, il emploie des trous, la quantité d'air admise est neuf fois celle du gaz ; elle est répartie à raison de 7, 5 volumes pour le courant d'air externe et 1, 5 pour le courant intérieur, mais il n'y pas de diaphragme. Dans le bec Bengel employé comme étalon, à Paris, on obtient la Carcel avec 103 litres de gaz. On voit la différence de rendement qui existe entre le bec Elster et le bec Bengel. Cette remarque est générale, en diminuant, dans la plupart des becs actuels, la quantité d'air admise on augmenterait le pouvoir éclairant.

Le cône directeur a pour but de diriger le courant d'air sur la flamme, il joue le rôle du coude dans la cheminée des becs à huile. Il achève la combustion, la conséquence est une diminution du rendement lumineux dans la proportion de 3 %, mais cette perte est compensée par une grande régularité de la flamme dont les oscillations sont amorties.

*Cheminée.* — La cheminée en produisant le tirage augmente encore la combustion. Le tirage dépend de la hauteur, aussi ne doit-on pas donner à cette dernière une valeur exagérée. Le chiffre de 0<sup>m</sup>,20 adopté au début pour les abonnements à l'heure convient parfaitement. Quant au diamètre il doit être aussi faible que possible de manière à réduire la section d'échappement des gaz. Sa dimension est subordonnée à celle du brûleur, mais il faut tenir compte également de la puissance calorifique du gaz qui occasionnerait le bris du verre. Comme dans les autres systèmes d'éclairage, on a essayé de diminuer le diamètre, soit en rétrécissant la cheminée dans le haut, soit en plaçant un obturateur en porcelaine au-dessus. Dans le premier cas, le prix élevé des cheminées

est compensé par leur plus longue durée; dans le second, l'économie du gaz est vite dépensée par le remplacement plus fréquent des verres.

Les becs à double courant d'air se construisaient, au début, en métal, les tubes amenant le gaz étaient en cuivre, et la platine portant les trous, en fer. On a imaginé de les faire complètement en fonte, mais l'oxydation rapide du métal, le nettoyage fréquent des trous l'ont fait abandonner. D'une manière générale, les becs en métal sont défectueux, ils s'échauffent trop rapidement et la chaleur rayonnante peut devenir incommode. M. Monnier avait essayé de faire des becs en cristal dont l'échauffement est très faible, de plus, ils n'absorbaient pas de lumière. On les a abandonnés à cause de leur fragilité.

Actuellement les becs les plus employés ont la couronne en porcelaine ou en stéatite; le panier est également en porcelaine, en métal ou en verre. Quelques modifications ont été apportées à ces brûleurs. Dans le bec *Albert*, le panier a été supprimé, l'air arrive directement à la flamme; il est certain qu'on a voulu chercher à favoriser l'introduction de cet air, condition cependant défavorable à un bon rendement. Le gaz est, en effet, amené à la couronne par trois branches coudées dégageant entièrement le courant intérieur.

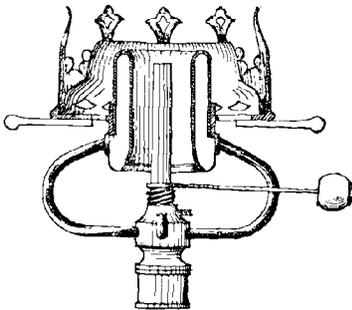


Fig 54. — Bec *Albert*.

Les trous, au nombre de 40, mesurent un millimètre de diamètre, débitant le gaz sous une forte épaisseur. Sur le tube d'arrivée du gaz se trouve monté un obturateur mû par une tige extérieure assez longue, suivant la position qu'il occupe, la quantité de gaz admise est plus ou moins considérable, et lorsqu'il est complètement fermé, le bec est en veilleuse. Dans quelques-uns de ces becs, on dispose au-dessus un disque horizontal destiné à rabattre sur la flamme le courant d'air intérieur. Ce brûleur est d'un emploi commode, grâce à l'obturateur, on peut régler particulièrement la consommation suivant les besoins, il convient pour les éclairages intermittents (fig. 54).

Le nombre des becs à double courant d'air est très considérable, mais, en dehors des précédents, fort peu sont usités d'une façon courante. Il convient de citer cependant le *bec Mutel* fort ancien et présentant une particularité spéciale. Sur la platine de la couronne sont enfoncés de petits tubes d'acier s'élevant à une certaine hauteur. Ces

tubes placés dans la flamme, s'échauffent facilement, et décomposent les carbures à leur sortie. Il en résulte que la partie obscure de cette dernière est diminuée, ce qui augmente d'autant la puissance lumineuse.

Les becs ronds sont employés plus spécialement pour l'éclairage intérieur, car leur allumage n'est pas aussi simple que celui des becs fendus. La lumière obtenue très fixe et très régulière convient particulièrement dans les bureaux, les magasins, mais ils sont très sensibles à la pression, aussi est-il indispensable de rendre cette dernière constante.

Ces becs sont plus économiques que les brûleurs à air libre; il suffit, du reste, d'examiner le tableau suivant, qui permet de comparer ces divers appareils entre eux.

NATURE DU BEC	Consommation horaire	Consommation par bougie (bougie Étoile)	Consommation par carcel
Bec bougie. . .	{ 2 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> de diamètre. . . . . 35 litres	22 litres	»
	{ 1 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> ,5 — . . . . . 45 —	30 —	»
Bec Manchester. . .	{ 1 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> ,75. . . . . 150 à 200	17 à 18	127 litres
	{ 1 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> ,5 . . . . . 100 à 150	19 à 20	137 —
	{ 1 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> . . . . . 100 à 150	22 à 25	161 —
Bec papillon. . .	{ 7/10 n° 7. . . . . 120 à 150	17 litres	120 —
	{ 6/10. . . . . 120 à 140	17 à 18	125 —
	{ 5/10. . . . . 100 à 150	19 à 20	137 —
Bec rond. . . . .	{ Bengel, 40 jets. . . . . 150 à 200	15 litres	105 —
	{ — 30 jets. . . . . 100 à 155	15 —	105 —
	{ — 20 jets. . . . . 100 à 155	18 —	126 —

D'une façon générale, on peut remarquer que les fortes consommations sont les plus avantageuses.

En donnant à ces divers brûleurs des dimensions suffisantes, on pourrait obtenir toutes les consommations, et par suite tous les pouvoirs éclairants; mais la pratique a fixé leur choix d'après les besoins. C'est ainsi que le bec fendu de 6/10, consommant 140 litres, a été adopté pour l'éclairage des rues de Paris.

Pour les débits inférieurs à 140 litres, on emploie des manchesters qui, quoique n'étant pas très économiques, fonctionnent régulièrement. Pour

une consommation plus élevée, on leur préfère les becs papillons dont le débit peut varier de 140 à 450 litres. Ce chiffre de 450 litres est rarement dépassé, même avec les brûleurs à cheminée, que l'on construit également pour tous les débits. Au-dessus, et même à partir de cette consommation de 450, il est préférable de recourir aux becs intensifs dont le rendement lumineux est de beaucoup supérieur.

## 2° BECS INTENSIFS A AIR FROID.

Jusqu'en 1878, on ne s'était guère préoccupé de l'intensité lumineuse des brûleurs à gaz et surtout de leur rendement, il fallut les essais d'éclairage électrique de l'avenue de l'Opéra pour forcer le gaz à fournir une lumière suffisamment intense pour soutenir la concurrence.

**Bec du Quatre-Septembre.** — La première idée fut de grouper une série de becs dans une même lanterne, et, après quelques recherches, on arriva au bec intensif dit du Quatre-Septembre, du nom de la rue désignée par la Municipalité Parisienne pour y entreprendre les essais.

Ce brûleur est formé par le groupement de six becs fendus, disposés sur une même circonférence de manière à présenter le plan de la flamme tangentiellement à cette circonférence (fig. 55). Deux coupes en cristal entourent ces becs et divisent le courant d'air en deux parties comme dans un bec Argand ; cette disposition augmente la fixité des flammes. Pour préserver la coupe intérieure contre la chaleur rayonnante, on l'entoure d'un cercle en mica. Le gaz arrivant au centre est distribué par des conduites radiales aux papillons dont la fente est de 6/10 de millimètre.

Il y a deux types de brûleurs du Quatre-Septembre consommant, l'un 1.400 litres, l'autre 800. A l'Exposition de 1889, il y en avait un consommant 4.500 litres. Pour réduire la dépense, on les éteint à minuit, au moment où la circulation est moins active, et ils sont remplacés alors par un bec papillon ordinaire dit bec de minuit.

L'appareil se complète d'un petit bec ou veilleuse allumée pendant le jour, et servant à l'allumage le soir. Suivant la position du robinet à trois voies, la veilleuse, les six brûleurs ou le bec de minuit sont seuls en service.

Le brûleur est enfermé dans une lanterne à six pans, du type de la Ville de Paris. Dans le chapiteau, on place une cheminée dont la base

très évasée est en porcelaine et forme réflecteur. Le chapiteau préserve le brûleur et sa cheminée contre la pluie et le vent. La lanterne se place sur un candélabre ordinaire.

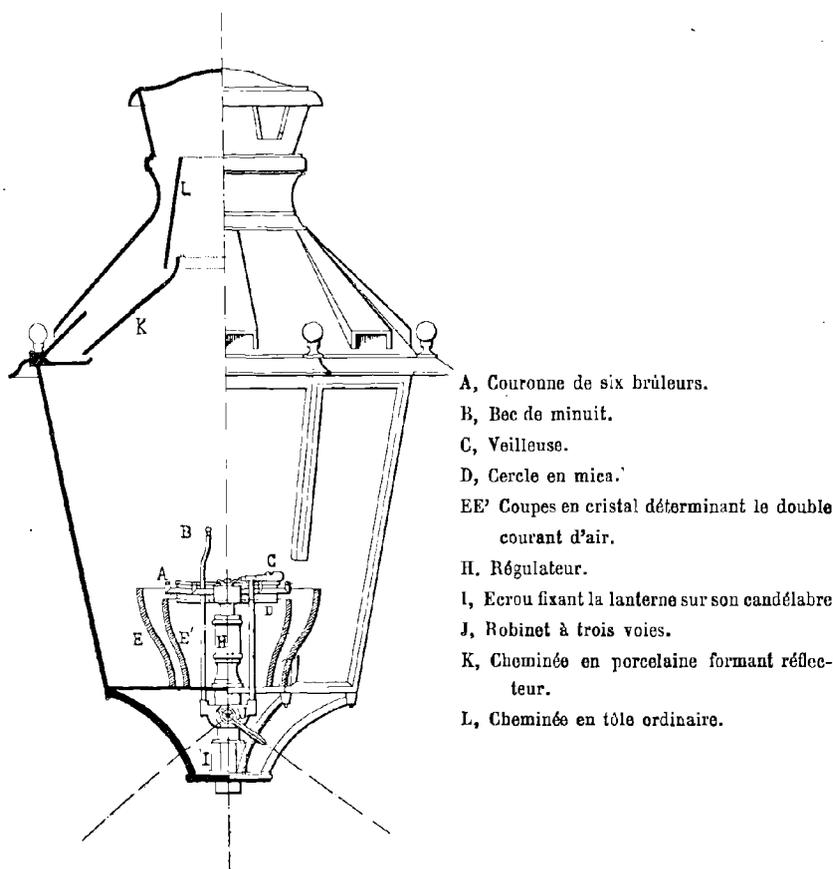


Fig. 55. — Brûleur du Quatre-Septembre.

Les becs du Quatre-Septembre ont eu pendant quelque temps un certain succès. L'intensité horizontale de 13 carcels fournie par le brûleur de 1.400 litres permet d'obtenir dans les rues un éclairage assez uniforme. On en rencontre encore un très grand nombre dans Paris. Toutefois ils ne sont pas très économiques, et leur rendement lumineux est beaucoup trop faible, car ils donnent la carcel avec 108 litres. Aussi leur emploi ne s'explique guère que dans les pays où la houille est bon marché

comme en Belgique par exemple; en Angleterre on leur préfère le bec Sugg.

**Becs intensifs à double courant d'air.** — Le brûleur de Sugg a fait son apparition à Londres en 1878, c'est un bec Argand de fortes dimensions. Les deux fourches du bec à double courant d'air ordinaire qui amènent le gaz à la couronne, sont remplacées par trois ou quatre tubes recourbés, laissant entièrement libre le courant d'air intérieur. Une cheminée en verre assez large mais peu haute entoure la flamme, le panier est supprimé. La consommation de ces becs peut atteindre des proportions considérables, il suffit de donner à la couronne un diamètre en conséquence. Avec 900 litres de gaz à l'heure, on obtient 11 à 12 carrels sur l'horizontale. On a cherché au moyen de toutes sortes de dispositifs à utiliser encore davantage le courant d'air extérieur, mais en activant la combustion on ne faisait que diminuer le rendement, aussi ces divers brûleurs ont-ils été abandonnés.

On a construit également des becs Sugg à deux ou trois couronnes concentriques permettant de donner aux brûleurs des dimensions plus restreintes. Cette disposition donne les mêmes résultats que la première, car l'absorption de lumière produite par les flammes est insignifiante. Elle a été appliquée en France dans le bec *Sciler* formé par deux couronnes concentriques en stéatite, l'arrivée du gaz se fait comme dans le bec à double courant d'air ordinaire. Un panier en porcelaine tamise l'air qui se distribue entre chaque couronne. Ce bec donne la carcel avec 114 litres, et, pour une consommation de 400 litres, chiffre ordinaire, l'intensité lumineuse atteint sur l'horizontale 3 carrels 5. Ce brûleur n'est pas plus économique que le bec Sugg, aussi son emploi ne tend pas à se généraliser, il servait surtout à l'éclairage des halles et des magasins.

Les brûleurs intensifs à air froid, sont très simples, mais ils sont peu économiques, aussi sont-ils appelés à disparaître pour faire place aux appareils intensifs à air chaud.

### 3° BRULEURS A AIR CHAUD.

Tout corps combustible ne prend feu qu'après avoir atteint un certain degré de température. C'est ainsi que pour enflammer une allumette, il

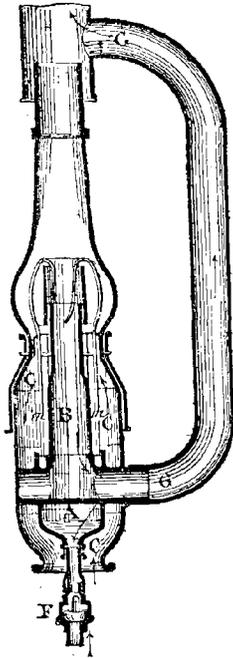
est toujours indispensable d'élever par le frottement le degré de chaleur de la pâte inflammable. Il en est de même dans les brûleurs à gaz, le carbone ne brûle qu'après avoir été suffisamment chauffé, mais la chaleur étant fournie par la source lumineuse elle-même, il en résulte un abaissement de température dans la flamme. Or, comme le pouvoir éclairant dépend du degré de chaleur des particules de carbone contenues dans le foyer, l'intensité lumineuse étant fonction exponentielle de leur degré de température, on comprend tout l'intérêt qu'il y a à ne pas diminuer cette dernière, et à supprimer toute cause de perte. C'est dans ce but qu'on a imaginé de chauffer au préalable le gaz ou l'air, ou même les deux en même temps, on produit ensuite la combustion au moment même où les deux fluides se rencontrent.

Le chauffage du gaz n'a pas donné de bons résultats. Sa masse est trop faible par rapport au volume total, il faut en effet cinq litres et demi d'air pour produire la combustion d'un litre de gaz; il faudrait dans ces conditions le porter à des températures très élevées qui pourraient amener la décomposition des carbures, et par suite des dépôts de graphite.

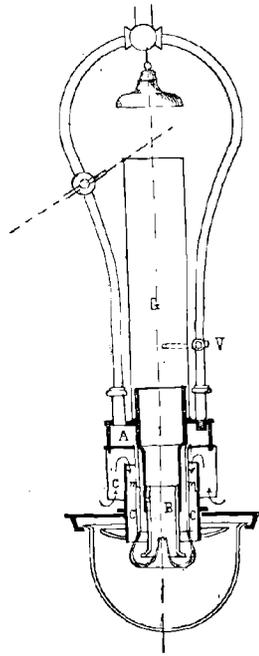
Actuellement on se contente de chauffer l'air seulement; des essais récents de M. Sainte-Claire Deville ont montré qu'en portant à 500° l'air de la combustion on pouvait doubler le pouvoir éclairant d'une source lumineuse. Au-dessous de cette température l'intensité lumineuse croît environ de 20 % pour chaque élévation de température de 100 degrés.

Il faut remonter à 1836 pour retrouver les premières tentatives de chauffage de l'air. Elles sont dues à l'ingénieur français Chaussenot, à qui fut décerné pour son invention un prix de deux mille francs, par la Société d'encouragement sous les auspices du chimiste Payen. Le bec Chaussenot n'était autre qu'un bec Argand à deux cheminées. La cheminée extérieure était prolongée jusqu'au-dessous des prises d'air, et ce dernier ne pouvait pénétrer que dans l'intervalle des deux cheminées. En passant le long des parois du verre intérieur chauffées par les produits de la combustion, cet air s'échauffait, et pouvait enflammer directement le gaz à sa sortie de la couronne. En utilisant ainsi les chaleurs perdues, on augmentait le pouvoir éclairant du gaz de 33 %. C'est sur ce principe que seront établis tous les brûleurs intensifs à récupération. Malheureusement l'emploi de deux cheminées était une trop grande complication pour l'époque, et le bec Chaussenot tomba dans l'oubli. Dans ces dernières années est apparu un brûleur identique connu sous le nom de bec Missire.

**Brûleurs Siemens** (fig. 56). — L'idée fut reprise en 1879 par M. Frédéric Siemens, qui avait déjà appliqué la récupération au chauffage des fours, et en particulier à la distillation de la houille.



Modèle primitif (1881)



Modèle actuel (1888)

Fig. 56. — Brûleurs Siemens,

A, Chambre de distribution du gaz. — Le gaz arrive par la couronne de tubes *m* et la flamme se recourbe dans la cheminée en porcelaine B. — L'air comburant s'échauffe en C et les produits de la combustion s'échappent par la cheminée G. — F, Régulateur. — V, Veilleuse pour l'allumage.

Dans ce bec, le gaz arrive par une conduite enfermée dans une chambre de distribution, et il sort ensuite par une série de tubes disposés en couronne comme dans un bec Argand ordinaire. La partie centrale du bec forme cheminée par où s'échappent les produits de la combustion. Un tuyau d'aérage, deux fois coudé, et placé sur le côté du brûleur, amène les gaz de la combustion à la partie supérieure. Dans la cheminée centrale, ils suivent un chemin inverse de celui du gaz. L'appareil se complète par une cheminée renflée en verre entourant le brûleur. L'air nécessaire à l'alimentation circule entre la cheminée centrale et les tubes d'amenée du gaz.

Voici comment peut s'expliquer le fonctionnement de l'appareil :

lorsque le bec vient d'être allumé, les produits de la combustion s'échappent par la cheminée en verre, et produisent une sorte d'aspiration dans la cheminée coudée. Au moment où cette aspiration devient suffisante, la flamme, qui était verticale, se renverse brusquement dans l'intérieur de cette cheminée : le courant est établi. La cheminée centrale s'échauffe alors et l'air, en s'élevant le long de ses parois, récupère la chaleur par convection.

Cette flamme, renversée de l'extérieur à l'intérieur, est très originale. La consommation de ce brûleur varie d'après les dimensions données à l'appareil.

Les becs de 300 litres donnent de 3 à 7 Carcel, soit 53 à 50 litres par Carcel.

Ceux de 600 litres ont une intensité horizontale de 13 à 14 Carcel, soit 40 à 45 litres par Carcel.

Les plus avantageux sont ceux à forte consommation de 1.600 litres ; leur intensité atteint 20 à 22 carcel, soit une consommation de 38 à 40 litres par Carcel. Le bec Siemens a été présenté en France, à la Société des Ingénieurs civils, en janvier 1881. Les essais en furent faits rue Royale en 1882 ; l'éclairage était obtenu avec 18 becs de 600 litres, mais leur forme lourde, qui leur avait valu le nom de becs obus, et le bris fréquent des cheminées tronconiques les firent abandonner.

Siemens modifia ce brûleur, et, après avoir imaginé une série de becs d'un fonctionnement très remarquable, il est arrivé à construire un appareil aujourd'hui très employé en Belgique et en Allemagne.

Le principe est le même que celui du brûleur primitif, mais la forme est renversée. Le gaz arrive de haut en bas, et débouche dans une caisse, où il est distribué à une série de tubes formant la couronne du brûleur. La flamme, aspirée dans l'intérieur de la cheminée, chauffe fortement les parois de cette dernière formée dans le bas par un cylindre en porcelaine, puis dans le haut par de la fonte. Une cheminée en tôle cylindrique augmente le tirage. L'air froid, aspiré de l'extérieur, descend le long des tubes du brûleur, parallèlement au gaz, et s'échauffe au contact des parois de la cheminée. La flamme est enfermée dans une coupe en verre. Un réflecteur renvoie la lumière sur le plan horizontal à éclairer. Ces brûleurs sont établis pour des consommations variant de 320 à 1.245 litres. Leur fonctionnement est très satisfaisant ; ils donnent la Carcel avec 35 litres, chiffre qui n'a pas encore été dépassé

depuis. La combustion est très complète, car on ne trouve pas de suie dans la cheminée. Une petite veilleuse, placée sur cette dernière, rend l'allumage très facile.

Ce bec étant de beaucoup postérieur au précédent (1888), il est tout naturel d'y trouver tous les perfectionnements apportés dans la fabrication des becs à récupération. Malgré ses nombreux avantages, il est peu répandu en France; il est vrai de dire que son prix d'achat est très élevé.

**Becs Wenham.** — Le bec Siemens a marqué le point de départ des nombreux brûleurs à récupération imaginés depuis. Ce développement s'explique surtout par la nécessité de fournir des appareils intensifs pouvant lutter contre l'électricité.

La principale préoccupation a été de simplifier la forme du brûleur Siemens primitif, et de réduire son prix élevé. Le premier appareil de ce genre a été le bec Wenham (fig. 57).

Le brûleur est formé par un bec à double courant d'air ordinaire, à 50 trous de 1 millimètre  $\frac{1}{2}$  de diamètre, mais renversé, c'est-à-dire que l'arrivée du gaz se fait du haut en bas. La cheminée se trouvant autour de la tige d'alimentation, la flamme renversée se dirige de l'intérieur vers l'extérieur, en sens inverse de celle du brûleur Siemens. L'air arrive autour de la couronne intérieurement et extérieurement. Le courant d'air intérieur est séparé de la flamme par une toile métallique qui empêche toute combustion dans le brûleur. Mais, pour parvenir jusqu'à lui, l'air a dû traverser des conduits horizontaux en fonte, disposés suivant les rayons d'une étoile. C'est autour de ces conduits que circulent les gaz de la combustion, où ils y abandonnent par convection une partie de leur chaleur. Une cheminée en tôle active et dirige ce tirage. La flamme est entourée par une verrine qu'il faut déplacer pour l'allumage. A cet effet, elle est mobile autour d'une charnière. Un robinet de barrage, placé tout en haut de l'appareil, sur la conduite d'amenée du gaz, sert à régler l'arrivée de ce dernier. La manœuvre de ce robinet peut se faire au moyen d'une perche ou de deux chaînes pendantes.

Tel est, dans son ensemble, le brûleur Wenham primitif, qui présente de nombreux inconvénients. L'arrivée du gaz, se faisant comme dans un bec Argand ordinaire; les coudes, que comporte forcément la conduite, s'encrassent par suite des dépôts de graphite provenant de la décomposition du gaz à cette haute température. Le nettoyage en est

impossible. Un autre défaut, c'est que le récupérateur forme écran, et empêche la lumière d'arriver au-dessus du plan horizontal.

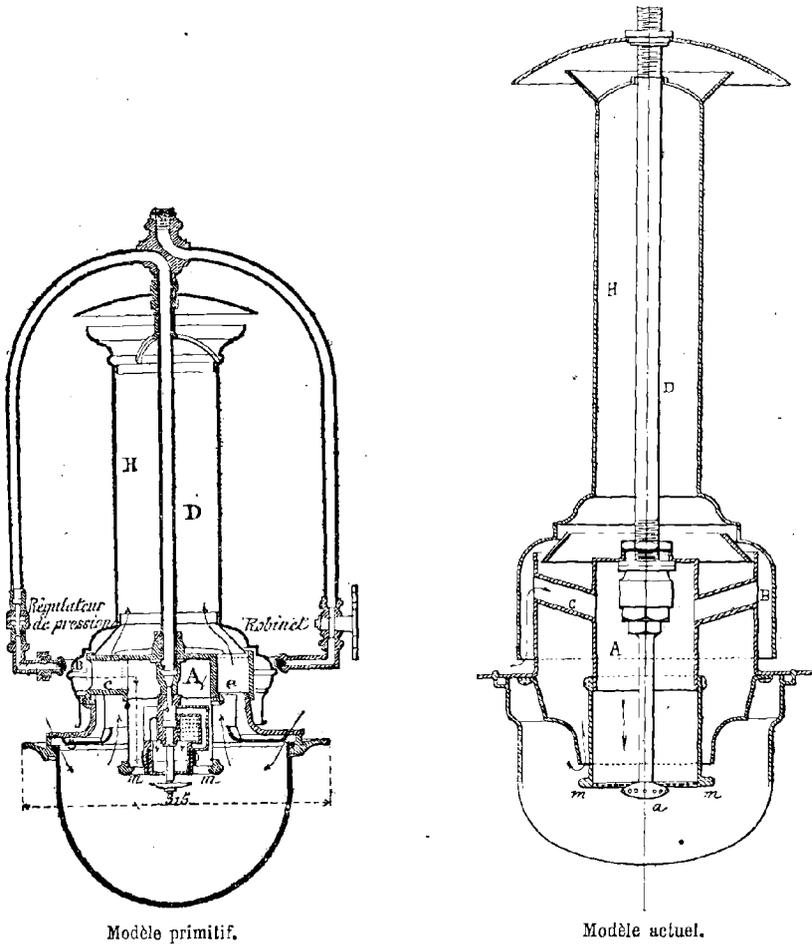


Fig. 57. — Lampes Wenham.

A, Chambre de combustion. — B, Prises d'air. — C, Récupérateurs en fonte. — D, Tuyau de descente du gaz. — H, Cheminée. — *m*, Couronne en porcelaine préservant contre la flamme les bords de la chambre de combustion. — *a*, Bouton en stéatite d'arrivée du gaz. — *e*, Passage des produits de la combustion.

Pour remédier à ces divers inconvénients, l'appareil primitif a été modifié complètement. Le bec à double courant d'air a été remplacé par un simple bouton en stéatite, distribuant le gaz horizontalement, condition avantageuse pour assurer une bonne combustion ; il est sim-

plement vissé à l'extrémité de la conduite. Le brûleur a été enfoncé davantage dans la coupe, ce qui diminue l'ombre portée par le récupérateur. Enfin, ce dernier est formé par une seule pièce de fonte, les conduits sont inclinés de manière à augmenter la surface de chauffe sans accroître le volume de l'appareil.

Les dimensions de ce brûleur dépendent de la consommation du gaz; il y en a plusieurs séries désignées par des numéros correspondants, depuis 140 litres jusqu'à 900. Au point de vue de l'intensité lumineuse, le bec Wenham a fait apparaître la nécessité de prendre les mesures photométriques sous plusieurs angles. A l'inverse des brûleurs précédents, c'est dans la direction horizontale qu'elle est le plus faible.

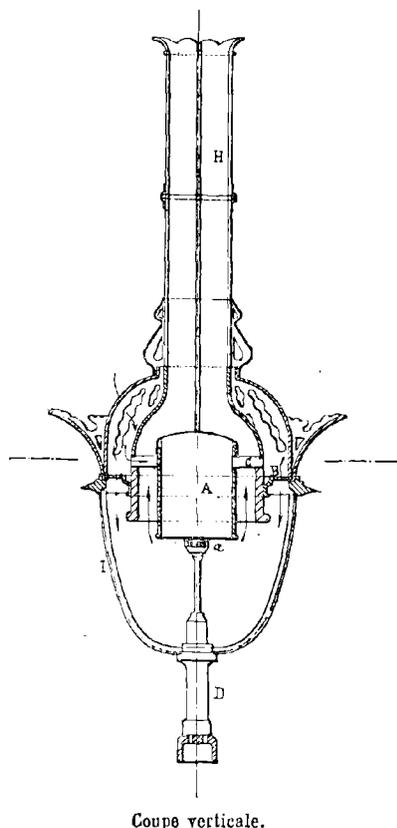
Voici, du reste, les résultats obtenus avec le Wenham, n° 3, dont la consommation moyenne est de 420 litres :

DIRECTION	INTENSITÉ	CONSOMMATION	
		totale	par carcel
Horizontale. . . . .	8°,40	433 <sup>1</sup>	51,55
Oblique . . . . .	10°,89	433	41,90
Verticale. . . . .	13°,92	420	31,77

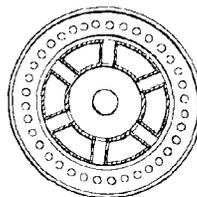
Ce brûleur est assez employé à l'éclairage de l'intérieur des habitations, en particulier dans les bureaux et pour les étalages des magasins, c'est-à-dire toutes les fois que les objets à éclairer restent fixes. Il laisse le plafond dans la plus grande obscurité.

La Compagnie Wenham a construit des appareils répondant à tous les besoins, et pouvant se substituer aux brûleurs ordinaires, disposition impossible avec le précédent. Ils sont basés sur le principe de la récupération; l'un des plus répandus est la lampe Étoile Wenham (fig. 58). Dans ce brûleur, beaucoup plus récent que celui à flamme en dessous, le gaz arrive par le bas, et se trouve distribué horizontalement par les orifices d'un bouton en stéatite. Le récupérateur renferme trois cylindres concentriques : le premier, au-dessus du bouton en stéatite, forme chambre de combustion; il est fermé dans le haut. Le second constitue une cheminée; il est coupé horizontalement par les tubes du récupérateur proprement dit. Enfin le troisième, reposant directement sur la coupe

en verre, qui entoure le brûleur, est ajouré pour permettre l'arrivée de l'air, et se trouve suffisamment ornémenté pour rehausser l'aspect de cet appareil très gracieux. Mais il a l'inconvénient de laisser encore dans



Coupe verticale.



Coupe horizontale.

- A, Chambre de combustion;
- B, Prises d'air froid;
- C, Récupérateur;
- D, Régulateur de pression;
- H, Cheminée en tôle;
- I, Supports du récupérateur et de la cheminée;
- a, Boulon en stéatite.

Fig. 58. — Lampe Wenham-Étoilé.

l'obscurité tout ce qui se trouve au-dessus du plan horizontal. Il convient de noter que l'alimentation se faisant de bas en haut le gaz n'est plus soumis à la haute température du récupérateur; le graphite se dépose en moindre quantité.

**Bec Cromartie.** — Les Wenham ont ouvert le série des becs à flamme en dessous, et, depuis leur apparition en 1882, à l'Exposition du Palais de Cristal à Londres, on en a enregistré un nombre considérable, tous dérivés du système précédent.

Dans le bec Cromartie, dû à Sugg, le récupérateur a été modifié; au

lieu d'être horizontaux, les conduits sont disposés verticalement (fig. 59). Ce récupérateur se compose de deux cylindres concentriques en fonte. Le premier entoure le tube d'arrivée du gaz; il est muni de deux ouvertures par où se fait l'admission d'air froid. En descendant le long de ce cylindre, cet air se chauffe méthodiquement avant d'arriver au brûleur formé par un bouton en stéatite vissé à l'extrémité du tube de descente.

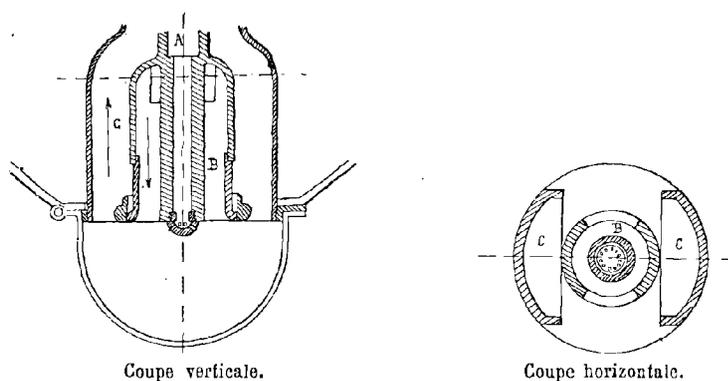


Fig. 59.— Bec *Cromartie*.

A, Arrivée du gaz; — B, Circulation de l'air; — C, Échappement des produits de la combustion.

Les produits de la combustion s'échappent par le cylindre extérieur. La flamme a la forme d'une tulipe. On construit des lampes Cromartie pour toutes les consommations, et en particulier pour les faibles débits de 100 litres à l'heure. C'est l'un des meilleurs appareils; de construction très robuste, son entretien est insignifiant.

On a disposé également ces lampes de manière à pouvoir les visser sur l'emplacement des anciens brûleurs verticaux. Toute la lampe est alors soutenue par une sorte de lyre dont une des branches amène le gaz à la partie supérieure de l'appareil, l'autre branche est pleine. La coupe est maintenue au moyen d'une tige spéciale placée au-dessous.

**Becs Bandsept.** — M. Bandsept a imaginé un appareil désigné sous le nom de gaso-multiplex, dans lequel le brûleur est descendu suffisamment bas dans la coupe pour permettre l'éclairage des plafonds tout à fait insuffisant avec les systèmes précédents.

Le principe est le même que celui du Wenham (fig. 60), mais pour empêcher les hydrocarbures d'être décomposés dans le tuyau d'arrivée du gaz, on isole la conduite au moyen d'un calorifuge en amiante.

Une autre amélioration a été apportée dans la manœuvre de la verrine. En tirant la chaîne pour ouvrir le robinet à gaz pour l'allumage,

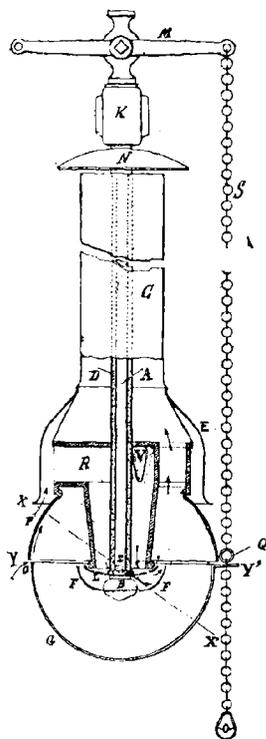


Fig. 60. — Brûleur *Bandsept* à flamme en dessous.

A, Arrivée du gaz s'échappant par le bouton B;  
 C, Cheminée;  
 D, Enveloppe calorifuge en amiante;  
 E, Arrivée de l'air froid qui se rend dans le récupérateur R;  
 L, Grille empêchant le feu de se communiquer en R  
 S, Chaîne servant à manœuvrer le robinet M et la verrine G.

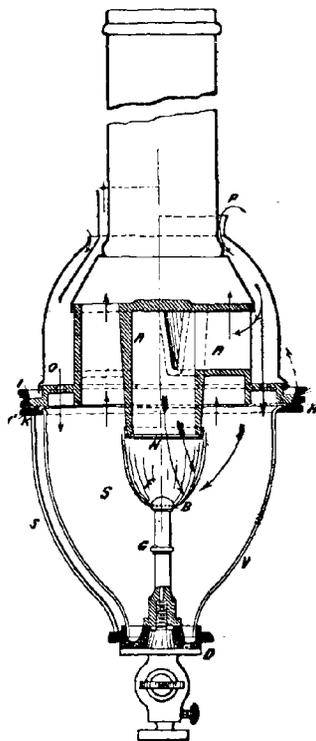


Fig. 61. — Brûleur *Bandsept* à flamme verticale.

B, Bouton en stéatite amenant le gaz;  
 R, Récupérateur;  
 S, Tiges reposant sur la douille D et supportant le récupérateur au moyen de la couronne H;  
 p, Introduction de l'air froid;  
 V, Verrine reposant sur la douille D.

la coupe se trouve entraînée et met le brûleur à découvert. Lorsque l'allumage est terminé, il suffit d'incliner un peu la chaîne pour qu'elle abandonne le taquet de la coupe qui reprend sa position primitive et permet le fonctionnement de l'appareil. L'intervalle entre la coupe et le récupérateur est assez faible pour empêcher toute rentrée trop considérable d'air froid. Le type courant consomme 250 litres, mais on trouve également des lampes de 600 litres.

M. Bandsept a également imaginé des petits brûleurs à flamme en-dessus et à faible consommation. Dans un premier appareil le brûleur avait une forme spéciale donnant à la flamme l'apparence complète d'une tulipe, il était muni de deux cheminées rappelant le bec Chaussenot. Cet appareil a été abandonné.

A l'Exposition de 1889, il a fait paraître un nouveau brûleur semblable comme forme au bec Wenham-Étoile, mais la flamme est descendue beaucoup plus bas dans la verrine. De cette façon l'inconvénient général des Wenham est évité (fig. 61).

Le récupérateur comporte un nombre impair de carneaux, ils aboutissent à une chambre de combustion fermée à la base par une toile métallique. Il est supporté par le tube d'amenée du gaz au moyen de trois tiges s'adaptant à la forme de la coupe qui repose directement sur une douille placée au-dessus du robinet.

**Lampe Rouennaise.** — Cette lampe construite à Rouen par MM. Grégoire et Godde est dérivée de la lampe Wenham avec quelques modifications importantes. Le brûleur formé par un bouton en stéatite est vissé à l'extrémité d'une tige garnie intérieurement d'un tube en verre empêchant tout dépôt de graphite ou de poussière dans la conduite d'amenée du gaz ce qui arrive généralement dans les autres brûleurs de ce type.

Le récupérateur est entièrement venu de fonte, il est formé par un cylindre vertical autour duquel sont disposés une série de tubes à section circulaire ou trapézoïdale. L'air circule entre ces tubes tandis que les gaz de la combustion passent au contraire à l'intérieur. Un second récupérateur à ailettes exposé directement à la chaleur de la flamme complète le chauffage de l'air.

La conduite principale alimente une conduite secondaire ou rampe descendant jusqu'au brûleur, cette dernière munie d'un robinet spécial est percée de petits trous de distance en distance. Pour allumer l'appareil, on commence par ouvrir le robinet principal de la lampe et celui de la conduite secondaire ; on met alors le feu à l'orifice supérieur de la rampe et la flamme se communique jusqu'au bas du brûleur. A ce moment on ferme le robinet de la conduite secondaire. Cette disposition dispense de toute manœuvre de la verrine.

Les autres organes ne présentent rien de particulier. En ce qui con-

cerne le rendement, il est sensiblement le même que celui des lampes précédentes.

Celle de 680 litres donne la carcel sur la verticale avec	37 <sup>l</sup> ,26
— 260 —	38 <sup>l</sup> ,10

La forme de cette lampe est assez gracieuse. L'enveloppe extérieure est recouverte d'une couche d'émail se prêtant à tous les genres de décors.

**Lampe Ezmos.** — Dans la lampe Ezmos, anagramme du nom de l'inventeur Somzè, on a cherché comme dans l'appareil précédent à réduire à l'intérieur du tube d'amenée les dépôts de graphite. Ce tube est coupé en deux parties réunies par un manchon, de manière à présenter un espace où les poussières et les eaux de condensation s'amassent plus particulièrement (fig. 62).

Le récupérateur du genre Wenham est en fonte, ses parois sont inclinées, il se complète par un cylindre vertical qui fait corps avec lui à la partie inférieure. Au-dessus se trouve la cheminée d'évacuation entourée d'une enveloppe métallique percée de trous. C'est par ces orifices que pénètre l'air froid dont une partie se dirige dans le récupérateur, et l'autre descend dans la verrine qu'il préserve contre un échauffement exagéré.

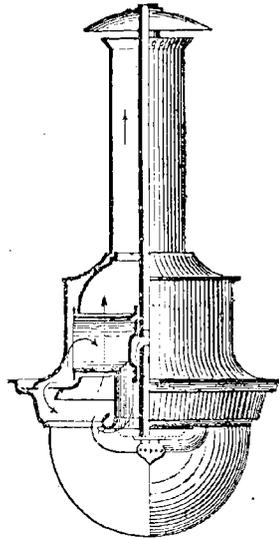


Fig. 62. — Lampe Ezmos.

Le brûleur est formé par un bouton en stéatite. Le fonctionnement de l'appareil est identique à celui des lampes précédentes.

Cette lampe est construite par la Société Franco-Belge, qui fabrique également les divers brûleurs de M. Bandsept.

**Lampe Sée Vouthers.** — L'emploi d'un seul bloc de fonte, dans la construction du récupérateur, n'est plus actuellement une particularité, puisque tous les constructeurs l'ont adopté, mais il convient de remarquer que les premiers essais sont dus à M. Sée. Le grand avantage de cette disposition est la suppression des joints, toujours délicats lorsqu'il s'agit d'appareils soumis à une température élevée. Le brûleur de la lampe Sée Vouthers rappelle celui des premiers Wenham, c'est-

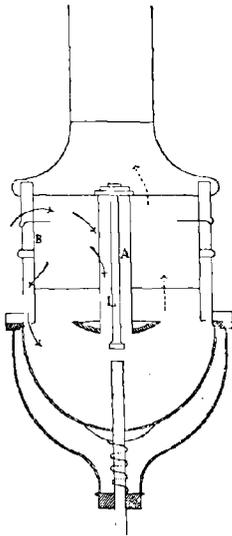
à-dire qu'il présente des tubes coudés d'un entretien très difficile. A ce point de vue, cet appareil est défectueux; mais par contre sa position très bonne dans la verrine lui a dès le commencement assuré une grande supériorité.

Une des principales améliorations est le dispositif adopté pour l'allumage et dont l'application a été faite dans la plupart des autres brûleurs. Il consiste en une petite bille en verre reposant sur les bords d'un orifice percé dans le fond de la coupe. Pour allumer cette lampe on ouvre le robinet en même temps qu'on approche du brûleur la perche d'allumage en soulevant la bille. Aussitôt le gaz enflammé, il suffit de retirer la perche d'allumage, la bille vient fermer l'orifice d'introduction. Comme rendement la lampe Sée Vouthers ne présente rien de spécial. Il y en a cinq modèles consommant respectivement 115, 170, 260, 340 et 570 litres.

**Lampes Danichewski.** — Dans les brûleurs précédents, sauf le Wenham Étoile et le petit brûleur Bandsept le gaz arrive de haut en bas. Cette disposition est avantageuse parce que la lumière n'est obstruée par aucun obstacle dans la zone au-dessous du plan horizontal; en un mot il n'y a pas d'ombre portée par les supports ou conduites d'amenée de gaz dans l'espace le plus important à éclairer. Elle présente toutefois un inconvénient assez grave: le tuyau de descente du gaz en traversant le récupérateur est soumis à une température très élevée, il en résulte que les hydrocarbures sont décomposés et que le graphite ne tarde pas à l'encrasser. De plus ces appareils à flamme en dessous ne peuvent guère être employés que suspendus. Avec la lampe Danichewski, qui est la première lampe à récupération de construction française, ces divers inconvénients sont évités. Le gaz arrive de haut en bas et s'échappe librement par un tube dont l'orifice est obstrué par un cylindre creux en stéatite, de manière à présenter un jet de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, suivant le débit. Cette disposition permet de laisser sortir le gaz sous une forte épaisseur. Le jet vient s'aplatir contre la section plane d'une plaque métallique qui force la flamme à s'épanouir horizontalement (fig. 63).

Quant au récupérateur, il y en a de deux formes différentes. Dans le système primitif le récupérateur est en cuivre et a la forme d'une étoile à neuf rayons. L'air froid passant par les diverses branches de cette étoile débouche dans une chambre centrale et dans la coupe. Les pro-

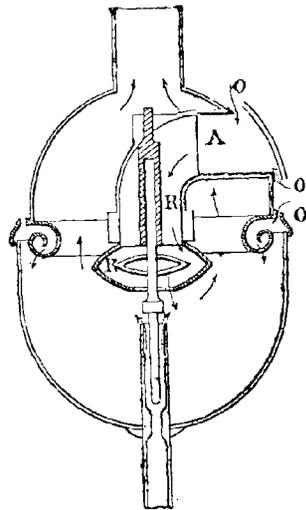
duits de la combustion circulent tout autour, abandonnant leur chaleur aux diverses branches du récupérateur. Le tirage est augmenté au moyen d'une cheminée en verre. Le récupérateur est supporté par deux tiges métalliques reposant sur le chandelier du bec, la verrine au contraire est soutenue par un fort ressort s'appuyant sur une surépaisseur du chandelier.



Lampe ancienne.

L'air, après s'être échauffé dans les carneaux B, débouche dans la chambre A, et dans la coupe sous la flamme.

Un obturateur L force la flamme à s'épanouir et à lécher la coupe qui termine la chambre A.



Lampe nouvelle.

L'air froid pénètre dans le récupérateur A par les orifices O, dans le bourrelet en nickel par les orifices O', et enfin tout autour du chandelier qui supporte le brûleur.

Le conduit R se termine par un obturateur en terre réfractaire.

Fig. 63. — Lampes *Danichevski*.

Dans le modèle nouveau, le récupérateur a beaucoup perdu de son importance, il se réduit à une seule des branches de l'étoile précédente, mais avec une section en conséquence. Il se termine au-dessus du bec par une partie en terre réfractaire qui sert à épanouir la flamme. Tout autour de la coupe, on a ménagé un bourrelet en nickel enroulé en spirale et percé de trous vers le bas par où arrive également une partie de l'air de la combustion. Les gaz chauds circulent entre ces deux conduites qui constituent le récupérateur et débouchent dans la cheminée en verre. Toute l'enveloppe du récupérateur est en verre, elle

permet ainsi l'éclairage des plafonds. Avec ce brûleur la récupération est moins parfaite qu'avec le précédent, aussi le rendement lumineux est-il un peu diminué. Les becs Danichewski sont établis pour de faibles consommations variant de 140 à 200 litres.

**Bec Lebrun-Desselle.** — L'arrivée du gaz de bas en haut a été maintenue dans la lampe Lebrun-Desselle qui tient le milieu entre le bec

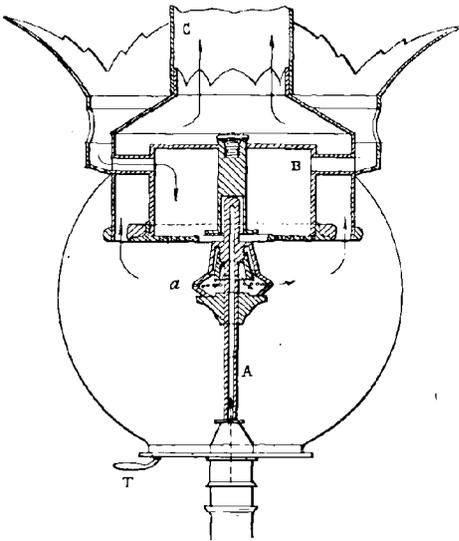


Fig. 64. — Lampe Lebrun.

- A, arrivée du gaz par le bouton de stéatite *a* ;
- B, récupérateur ;
- C, cheminée en verre ;
- T, trapillon pour l'allumage,

précédent et le bec Wenham-Étoile. Le récupérateur est formé par deux cylindres concentriques verticaux réunis par six branches horizontales. L'air froid passe dans ces branches, et récupère les chaleurs abandonnées par les gaz de la combustion qui circulent autour. Le récupérateur et sa cheminée en verre reposent sur le tube d'amenée du gaz qui se termine par une tige en cuivre formant pivot. La coupe en verre est sphérique, elle est munie dans le bas d'un trapillon pour l'allumage, avantage considérable qui dispense d'enlever le récupérateur pour enflammer le gaz à sa sortie du bec formé par un bouton en

stéatite. Il y a cinq modèles de ces lampes, et la consommation varie depuis 150 jusqu'à 500 litres à l'heure. Le rendement lumineux ne présente rien de particulier. Ces brûleurs étant très sensibles aux variations de pression, on dispose sur l'arrivée du gaz un régulateur faisant corps avec l'appareil (fig. 64).

Au point de vue général, il est certain que les brûleurs précédents comparés aux becs ordinaires présentent une économie réelle de gaz par rapport à leur pouvoir éclairant, mais il est vrai aussi que cette réduction n'est pas aussi importante que l'accusent les constructeurs. Cette exagération provient de ce que les mesures photométriques sont faites dans les conditions les plus favorables. Une flamme quelconque n'a

généralement pas la même intensité lumineuse dans toutes les directions. Tant qu'il s'est agi de becs à flamme en dessus, la direction n'avait pas d'importance, la distribution de lumière se faisant de la même façon dans tous les brûleurs. Il n'en a plus été de même avec les brûleurs à récupération, et, si l'on s'était contenté de mesurer l'intensité horizontale, on aurait trouvé que, loin d'être des appareils économiques, ils étaient très défectueux, ce qui n'est cependant pas exact. On a donc été amené à mesurer l'intensité lumineuse dans plusieurs directions et à calculer ensuite la quantité de lumière reçue par les éléments d'une sphère dont le centre est occupé par le foyer lui-même. En faisant la somme de tous ces éclairéments, et en divisant par la surface totale de la sphère, on obtient l'*intensité sphérique moyenne*. Ce procédé n'est pas équitable quand il s'agit de comparer les brûleurs ordinaires à ceux à flamme en dessous, car pour ces derniers il existe une zone tout à fait dépourvue de lumière dont on pourrait ne pas tenir compte. Cette observation n'a plus qu'une importance secondaire lorsqu'on les compare entre eux. Des mesures ont été faites à l'Exposition de 1889, le tableau suivant résume les résultats de ces expériences.

DÉSIGNATION des brûleurs	Dépense horaire	Intensité maximum	Intensité sphérique moyenne	Consom- mation par carcel pour l'intensité sphérique	Inclinaison du rayon le plus intense
Bengel photométrique. . .	105 <sup>l</sup> .	1 <sup>o</sup> .165	0 <sup>o</sup> .945	111 <sup>l</sup> .	15 <sup>o</sup>
Wenham Etoile. . . . .	166	3.007	1.590	100	30
Cromartie, petit modèle . .	88	1.53	0.84	103	45
— moyen modèle. . . . .	126	2.594	1.50	80	60
Lampe Bandsept. . . . .	120	1.638	1.11	108	30
Danichewski nouveau. . . .	162	2.715	1.75	92	45
— ancien. . . . .	179	3.028	2.15	83	45
Lebrun-Deselle. . . . .	155	2.733	1.48	104	60

Il résulte de l'examen de ce tableau que l'économie réalisée n'est pas de 50, mais seulement de 23 %, car l'intensité sphérique moyenne n'est pas supérieure à la moitié de l'intensité de la radiation maximum. D'autres essais ont montré que les becs à fort débit ont un rendement supérieur. Les brûleurs à *récupération à flamme en dessous* sont ac-

tuellement très répandus. On doit surtout les employer pour l'éclairage des bureaux, des écoles, des vestibules, des salles à manger, en un mot toutes les fois que la lumière ne doit pas être distribuée d'une manière uniforme dans toute la pièce. Ils laissent en effet les plafonds dans la plus profonde obscurité. Ces becs ont bien d'autres inconvénients, outre leur prix d'achat très élevé, ils ont contre eux leur entretien difficile et délicat, et surtout leur difficulté d'allumage que bien des constructeurs ont cependant atténuée. Enfin, ils dégagent une grande quantité de chaleur qui exige qu'on les place à une certaine hauteur. On les dispose maintenant, au moyen d'un montage spécial, de manière à ventiler les salles où ils sont installés, ce résultat, avantageux il est vrai, entraîne forcément une complication, et ne supprime pas la chaleur rayonnante.

Quant à leur grande sensibilité aux changements de pression on ne saurait la regarder comme un défaut, puisqu'elle est facile à corriger par l'addition d'un régulateur.

En ce qui concerne le choix à faire entre les divers brûleurs précédents il est subordonné à bien des conditions. Celle du rendement lumineux n'est pas la plus importante, du reste la différence d'un bec à l'autre n'est pas très considérable. Il faut surtout s'attacher à avoir des appareils ne demandant pas d'entretien et d'un allumage facile, de manière à éviter le bris des verrines assez fréquent dans ces lampes. Les dimensions et la forme du brûleur seront subordonnées à celles de la pièce à éclairer. On trouve facilement dans l'industrie un choix suffisant de ces lampes répondant à tous les besoins.

L'emploi de ces appareils est limité à l'éclairage intérieur des habitations, on ne doit pas songer à les employer à l'éclairage public, la distribution de la lumière, dont l'intensité est maximum près de la verticale, les rend impropres à cet usage et sauf les becs Siemens primitifs, les autres ont été abandonnés. Il en résulte que le but que l'on se proposait, c'est-à-dire soutenir la concurrence contre l'électricité au moyen de becs intensifs, n'a pas été atteint avec les becs à flamme en dessous. On s'est alors préoccupé d'appliquer la récupération aux brûleurs à flamme plate ordinaire.

**Bec Parisien.** — M. Schulke de Vienne, le premier, a trouvé une solution. Dans son appareil primitif, le gaz arrivait de haut en bas et était distribué à cinq ou six becs papillons disposés sur une même circonférence. Les produits de la combustion s'élevaient au centre de l'ap-

pareil occupé par une cheminée en tôle plissée. Autour de cette che-

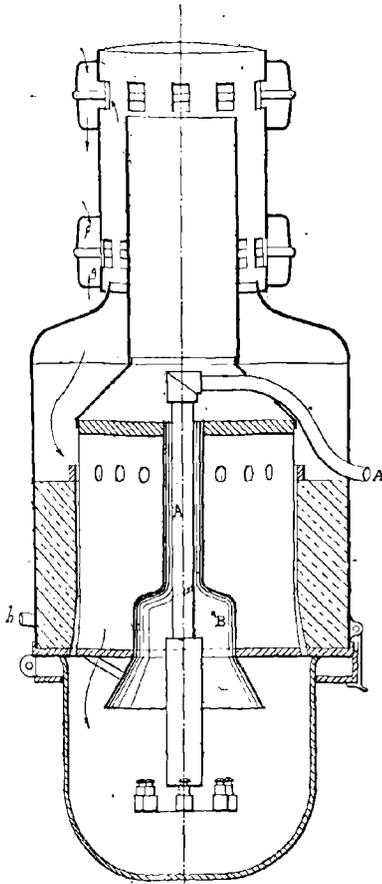


Fig. 65. — Bec Schulke primitif.

- A, tube d'arrivée du gaz;
- B, récupérateur en tôle plissée;
- f, g, prises d'air froid;
- h, tube d'alimentation de la veilleuse.

minée, se trouvait disposé un deuxième cylindre ; l'air comburant circulait entre les deux s'échauffant au contact des parois du cylindre intérieur. Le récupérateur était protégé contre le refroidissement par une couche d'amiante extérieure. Les prises d'air étaient mé-

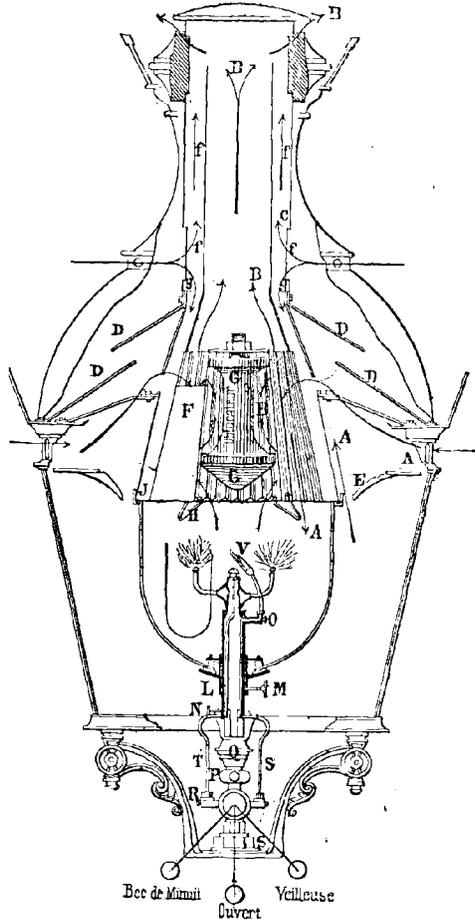


Fig. 66. — Bec Parisien ou bec Schulke modifié.

- A, prises d'air froid ;
- B, Echappement des gaz de la combustion ;
- C, obturateur en nickel ;
- D, cônes en tôle plombée préservant le brûleur contre la pluie ;
- B, réflecteur en porcelaine ;
- E, réflecteur en tôle émaillée ;
- F, enveloppe en amiante ;
- L, douille en cuivre maintenue par la vis M ;
- N, O, vis réglant la consommation du bec de minuit et de la veilleuse V ;
- P, régulateur ;
- R, robinet à 3 voies T, Q, S ;
- S, Ecrou de serrage de la lanterne sur le candélabre.

nagées à la partie supérieure sur l'enveloppe même de la cheminée. Une partie de l'air se rendait aux brûleurs après avoir récupéré d'une façon méthodique la chaleur abandonnée par les produits de la combustion. L'autre partie était aspirée par les gaz à leur sortie. Pour ne pas avoir à toucher à la coupe pour l'allumage, M. Schulke avait disposé à l'intérieur une veilleuse alimentée par une conduite spéciale; elle restait constamment allumée (fig. 65).

Ce bec intensif lourd et volumineux a été modifié pour être employé à l'éclairage public de la Ville de Paris, en 1882, sous le nom de *bec Parisien*. L'arrivée du gaz se fait de bas en haut, les brûleurs sont disposés en couronne comme précédemment dans une coupe en verre. Le récupérateur est formé par une cheminée tronconique plissée en nickel dont l'intérieur est occupé par un obturateur également en nickel. Autour de la cheminée se trouve disposé un deuxième tronc de cône; c'est dans l'intervalle que circule l'air froid à réchauffer (fig. 66).

Le récupérateur, protégé par une enveloppe en amiante, se trouve prolongé par une cheminée à doubles parois. Sur la paroi extérieure sont percées les ouvertures pour l'alimentation d'air froid; comme dans la disposition primitive, la majeure partie passe dans le récupérateur, et l'autre se trouve aspirée dans la cheminée.

L'appareil tout entier est enfermé dans une lanterne ronde à chapiteau très élevé. Trois séries d'ouvertures sont ménagées sur le corps de cette lanterne. Les orifices inférieurs et moyens servent pour les prises d'air froid, les orifices supérieurs dans le chapiteau même de la lanterne servent à l'évacuation des gaz de la combustion.

L'appareil se complète d'une veilleuse pour l'allumage et d'un bec de minuit. Comme dans le bec du Quatre-Septembre, suivant la position donnée au robinet placé à l'extérieur, on peut mettre en service la veilleuse, les brûleurs ou le bec de minuit.

La visite de la lampe doit se faire assez souvent, soit pour remplacer l'obturateur en nickel du récupérateur, soit pour épinglez les becs. On peut facilement descendre la verrine qui se trouve montée sur une garniture métallique. Cette garniture glisse le long du chandelier et se trouve maintenue par une vis; le joint est rendu étanche par de l'amiante. Lorsqu'on veut nettoyer les brûleurs, on défait la vis et la coupe descend le long du chandelier. L'importance de ce bec dépend du nombre de brûleurs, les fortes consommations sont les plus avantageuses, comme l'indiquent les chiffres suivants :

225 litres. . . . .	2 <sup>e</sup> ,4	soit 93 litres par carcel.
350 — . . . . .	5 <sup>e</sup> ,0	— 70 — —
550 — . . . . .	9 <sup>e</sup> ,98	— 56 — —
750 — . . . . .	14 <sup>e</sup> ,00	— 53 — —
1.000 — . . . . .	19 <sup>e</sup> ,7	— 51 — —

Le prix d'achat de ces appareils est assez élevé, on en rencontre beaucoup dans Paris, en particulier sur le boulevard de la Villette et place de l'Hôtel-de-Ville, où ils ont été employés pour la première fois.

**Bec industriel.** — Le bec parisien a servi de point de départ à une série de becs analogues dont le nombre va sans cesse en augmentant. Parmi ces appareils, il convient de citer le bec industriel, que MM. Lacaze et Cordier ont fait breveter en 1888 (fig. 67).

Il est disposé pour donner l'intensité maximum sur l'horizontale, c'est-à-dire qu'il comporte plusieurs becs fendus verticaux enfermés dans une verrine sphérique. Le gaz arrive par le bas et se distribue aux brûleurs groupés sur une même couronne. Le récupérateur diffère du précédent ; il est formé par une série de tubes horizontaux disposés en étoiles superposées les unes au-dessus des autres et arrangées de manière à avoir leurs rayons croisés d'une rangée à l'autre. Les gaz de la combustion circulent à l'intérieur de ces conduits, et l'air comburant au contraire passe tout autour s'échauffant par convection. Le récupérateur est surmonté d'une cheminée par où s'échappent les produits de la combustion. Tout

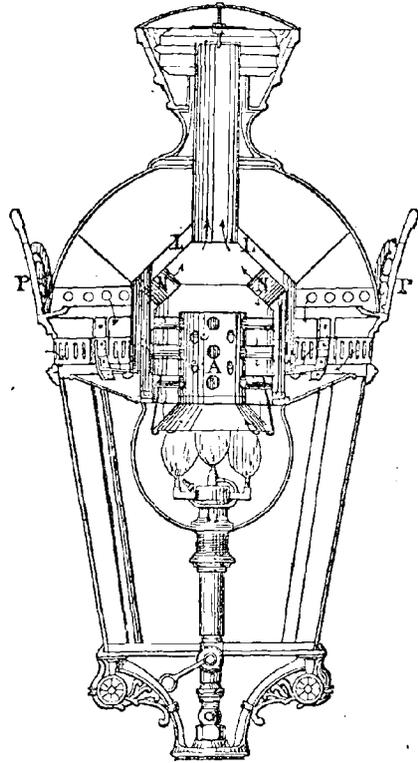


Fig. 67. — Bec industriel

A, récupérateur ;  
 L, paroi en cuivre entourant le récupérateur ;  
 N, ouvertures par où pénètre l'air froid ;  
 P, Couronne formant brise vent pour les prises d'air

de Paris. Des prises d'air sont ménagées en partie sur la lanterne et sur la base du chapiteau. Au lieu de laisser arriver directement l'air

froid sur le récupérateur, on le force à circuler autour d'une enveloppe en cuivre qui entoure ce dernier. Après s'être chauffé déjà au contact de cette paroi, il pénètre alors seulement dans le récupérateur. Comme dans l'appareil précédent, la couronne et le chapiteau de la lanterne sont séparés par des diaphragmes formant réflecteur et destinés à protéger la verrine contre la pluie. Les autres dispositions sont identiques à celles du bec Parisien. Il a toutefois comme avantage sur ce dernier de pouvoir se placer dans une lanterne ordinaire à cause de sa faible hauteur; de plus la coupe étant sphérique résiste mieux à l'action de la chaleur rayonnante. Il comporte une veilleuse et un bec de minuit comme dans tous les brûleurs à grand débit.

Il y a plus d'un millier de ces becs intensifs installés dans Paris pour l'éclairage des rues ou des places. L'avenue de l'Opéra, la place de la Bastille et la rue du Quatre-Septembre sont éclairées par des bec industriels; leur consommation varie de 430 à 1.200 litres à l'heure. Les grosses dépenses sont les plus favorables, on obtient la carcel avec une consommation de 80 à 50 litres, suivant l'importance du brûleur. Le bec industriel a été aménagé de manière à pouvoir être installé dans les ateliers, c'est-à-dire que la lanterne a été supprimée et remplacée par un réflecteur. Cette disposition, toutefois, est moins favorable que celle des brûleurs à flamme en dessous.

Des améliorations considérables ont été apportées aux becs précédents, on a cherché à se débarrasser de toutes les sujestions qu'ils comportent. C'est ainsi que dans le bec Skerling, la veilleuse a été supprimée et la verrine munie dans le bas d'un petit trapillon pour l'allumage. On supprime bien la consommation de la veilleuse, mais l'allumage est encore trop difficile pour pouvoir étendre ce système à tout l'éclairage public. Le principe de tous ces becs intensifs est le même que celui des appareils précédents, ils ne diffèrent entre eux que par quelques détails peu importants.

**Bec Phoenix ou Guibout.** — On a essayé également d'appliquer la récupération au brûleur intensif du Quatre-Septembre. Ce résultat a été réalisé avec le bec Phoenix dû à Guibout-Giroud. Le récupérateur, qui constitue la partie la plus importante de ce brûleur, comporte une cheminée conique en terre réfractaire entourée d'une double enveloppe métallique. L'enveloppe intérieure repose directement sur la coupe qui a la forme hémisphérique. L'air froid pénètre entre les deux

enveloppes métalliques et s'échauffe en descendant le long des parois de la cheminée en terre réfractaire (fig. 68).

Les produits de la combustion au contraire s'élèvent directement dans la cheminée conique, mais pour les forcer à lécher les parois de cette dernière, on a disposé au centre du récupérateur une coupe hémisphérique en terre réfractaire maintenue par une tige en fer.

On a conservé dans ce bec une coupe en cristal cannelé qui entoure les brûleurs. Son rôle est assez effacé, elle sert plutôt à produire des miroitements de la lumière qu'à diviser le courant d'air comme dans le brûleur du Quatre-Septembre. Le récupérateur repose directement sur la verrine qui à son tour est supportée par le chandelier au moyen d'une douille creuse.

Ce brûleur se dispose dans les lanternes ordinaires d'une façon un peu spéciale. Le récupérateur est relié au chapiteau de la lanterne par des chaînes flottantes. Lorsqu'on veut nettoyer l'appareil, on ouvre la douille creuse qui est en deux parties mobiles autour d'une charnière verticale. La verrine n'étant plus soutenue descend entraînant avec elle, le récupérateur jusqu'à ce que les chaînes maintiennent ce dernier suspendu. La visite de toutes les pièces est alors très facile.

L'allumage se fait au moyen d'une veilleuse, un robinet à trois voies permet comme dans les appareils précédents de maintenir en service, la veilleuse, le bec de minuit ou tous les becs.

Il y a cinq modèles du bec Phœnix consommant depuis 150 jusqu'à 1.200 litres, suivant qu'il y a deux ou six becs fendus. Ces brûleurs ont été employés rue Royale, ils subsistent encore place du Théâtre Français (1888).

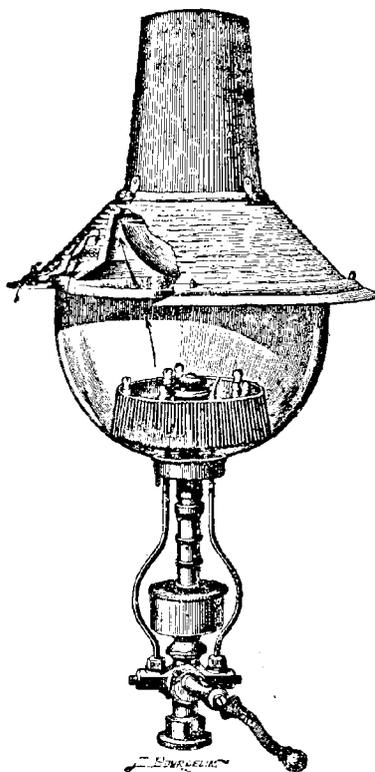


Fig. 68. — Bec Guibout

**Bec Delmas.** — On a appliqué la récupération au bec fendu ordinaire, et c'est sur ce principe qu'est basé le bec Delmas. Un bec papillon en stéatite est monté sur un chandelier en cuivre. Il est enfermé dans une coupe en verre épousant la forme de la flamme, et reposant par un joint fixe sur le chandelier. Sur cette coupe, s'appuient trois cheminées concentriques formées par des cylindres en métal qui constituent le récupérateur proprement dit. L'air froid, en circulant entre ces trois cheminées, récupère la chaleur abandonnée par les gaz de la combustion, qui s'échappent directement par la cheminée intérieure (fig. 69), en tôle plissée de manière à augmenter la surface de chauffe.

Le principe de ce brûleur est très simple, mais, lorsqu'il s'agit de l'appliquer à l'éclairage public, il présente une très grande difficulté, celle de l'allumage. On ne peut guère, comme dans les brûleurs précédents, recourir à une veilleuse. Sa consommation n'étant que de 85 litres à l'heure, on ne peut pas admettre la moindre dépense supplémentaire qui ne tarderait pas à compenser le bénéfice de la récupération.

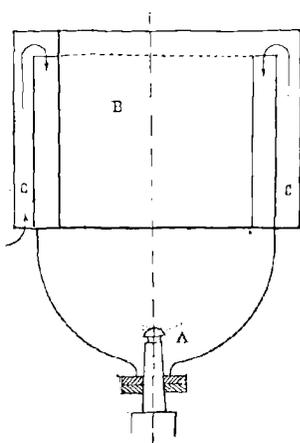


Fig. 69. — Bec Delmas

- A, Bec papillon;
- B, Cheminée en tôle plissée;
- C, Circulation de l'air.

On emploie alors l'étincelle électrique, jaillissant entre deux fils conducteurs logés dans une perche d'allumage. Le courant est fourni par trois piles que l'allumeur porte sur le dos.

Le bec Delmas a été adopté pour l'éclairage public de la ville de Toulouse, où 3.000 de ces becs sont actuellement en service. Outre le bec de 85 litres, il y en a un de 140 litres, mais il est moins répandu. Ce brûleur est défectueux par suite du bris fréquent de la coupe qui finit par supprimer tous les avantages.

Les becs à récupération et à flamme droite sont très avantageux pour l'éclairage extérieur; aussi ne saurait-on trop recommander leur emploi, surtout dans les localités où le prix du mètre cube de gaz est assez élevé. L'économie qui en résulte compense rapidement le prix d'achat. Quant au choix du brûleur, il est subordonné aux conditions de tous les appareils industriels, c'est-à-dire grande simplicité et grande résistance. La première condition amène toujours la facilité d'entretien. Les essais photo-

métriques ont montré que les fortes consommations étaient plus avantageuses, et que le rendement lumineux pouvait être augmenté de 50 %, Il suffit d'examiner les chiffres indiqués précédemment aux principaux brûleurs pour voir que l'on obtient la Carcel avec des consommations variant de 80 à 50 litres, suivant l'importance du bec.

Les fortes dépenses permettent en outre de réduire le nombre des appareils, et enfin l'allumage devient très simple par l'emploi d'une veilleuse. Cette dernière ne grève pas en effet d'une façon exagérée la consommation; elle n'exige que 12 à 15 litres de gaz par heure; elle est préférable aux allumeurs électriques, et même aux systèmes spéciaux qui permettent l'allumage direct, mais au prix d'une plus grande complication.

Les brûleurs intensifs à flamme droite sont aujourd'hui très répandus, et la ville de Paris seule en emploie un nombre très important.

#### 4° BECS A INCANDESCENCE.

Lorsqu'on brûle du gaz, si on évite la présence des particules de carbone dans la flamme, ce qui a lieu en faisant pénétrer l'air en tous les points, le pouvoir éclairant est diminué, et, de jaune qu'elle était, la flamme devient bleue sans puissance lumineuse. Il s'est produit un simple changement: l'énergie lumineuse a été remplacée par de l'énergie calorifique.

Si l'on place alors un corps dans cette flamme, il se trouvera fortement chauffé, et pourra émettre des radiations lumineuses, dont la teinte et l'intensité dépendront de sa nature et de son degré de température: c'est le principe des brûleurs à incandescence.

La flamme incolore est obtenue en mélangeant, au préalable, le gaz avec de l'air ou de l'oxygène, dans des proportions convenables, avant de l'enflammer. Ce mélange est favorisé par les fortes vitesses d'écoulement et les faibles épaisseurs, conditions absolument différentes de celles de la production des flammes jaunes.

**Lumière Drummond.**— Les premiers essais d'éclairage à incandescence sont ceux de Drummond, relatifs à la production de la lumière oxyhydrique. Le principe, fort simple, consiste à placer un bâton de chaux dans la flamme incolore, mais très chaude, d'un mélange de gaz et d'oxygène.

L'appareil, désigné sous le nom de chalumeau, comporte deux canalisations distinctes, se soudant un peu avant l'orifice de sortie, formé par

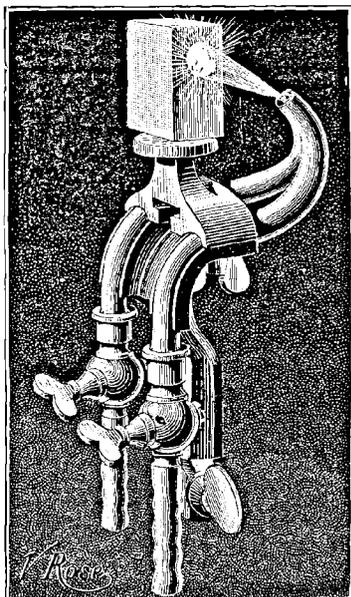


Fig. 70. — Chalumeau oxyhydrique.

un dard en platine (fig. 70). Les gaz, amenés séparément sous pression se mélangent à l'extrémité du chalumeau. Une toile métallique empêche le mélange de prendre feu intérieurement au contact de la flamme. Le jet incolore est projeté sur un morceau de craie qui se décompose sous l'action de cette haute température, en donnant de la chaux infusible, dont le pouvoir lumineux est très considérable. On peut disposer cinq ou six jets autour d'un seul morceau de craie. La lumière, très vive et très intense, est supérieure à celle de l'arc voltaïque. La chaux, se délitant très facilement, le physicien italien Carlvallis l'a remplacée par de la magnésie. Au lieu de gaz d'éclairage, on pourrait se servir d'hydrogène. Quant à la

proportion employée, elle se détermine mécaniquement : il suffit d'agir sur les robinets jusqu'au moment où la flamme ne fait plus entendre aucun sifflement. On doit toujours allumer le gaz le premier pour éviter toute explosion. La lumière Drummond ne sert guère qu'à l'éclairage de projections ou à des essais photographiques.

M. Tessié du Mothay a essayé d'appliquer cette lumière à l'éclairage public. Ses nombreuses recherches sur la fabrication de l'oxygène lui avaient permis d'obtenir ce gaz à bon marché. Une série de brûleurs furent installés sur la place de l'Hôtel-de-Ville, à Paris. Deux canalisations alimentaient tous les becs oxyhydriques. La pression était de 5 à 6 millimètres pour le gaz, et de 6 à 7 pour l'oxygène. Le prix de revient considérable de cette source lumineuse la fit abandonner.

Ces expériences furent reprises en 1872 par M. Caron, pour éclairer le boulevard des Italiens. Il employait toujours deux canalisations, mais la chaux était remplacée par du zircon. Elles n'eurent pas plus de succès que les précédentes.

Enfin, les dernières tentatives d'éclairage à incandescence, avec deux canalisations, ont été entreprises par M. Popp, qui avait remplacé l'oxygène par de l'air comprimé; mais il a dû y renoncer, car l'emploi de deux canalisations entraîne de trop grandes complications.

Le point de départ de l'éclairage à incandescence par le gaz, avec une seule canalisation, a été l'expérience de Gillard, en 1848, sur le gaz à l'eau. Il avait trouvé un procédé économique de fabrication de ce fluide dont le pouvoir éclairant est peu élevé. Pour en multiplier les applications, Gillard imagina de s'en servir à la production de la lumière, en plongeant dans la flamme incolore un petit cylindre formé par des fils de platine tissés. Ce petit panier mesurait 1 centimètre de haut; il était placé au-dessus du brûleur, qui n'était autre qu'un bec à double courant d'air à trous très fins, de manière à activer la combustion. Les essais eurent lieu à Passy, et une application générale en fut faite à l'éclairage public de la ville de Narbonne et des ateliers de la maison Christophle. Malheureusement, au bout de très peu de temps, les fils de platine se rompaient, et le remplacement trop fréquent des paniers fit abandonner ce procédé.

**Bec Sellon.** — Les essais ont été repris depuis, mais, au lieu de se servir du gaz à l'eau de fabrication spéciale, on est revenu au gaz ordinaire. Pour obtenir avec ce dernier une flamme incolore, mais chaude, il faut se servir d'un brûleur particulier, le bec Bunsen. Dans cet appareil, le gaz s'échappant d'un bec bougie ordinaire, débouche dans le fond d'un tube métallique. Sur ce cylindre sont ménagées, au droit du bec bougie, deux ouvertures par où se trouve aspiré l'air qui vient se mélanger au gaz du bec. Un registre permet de régler à volonté la quantité d'air aspiré. Le mélange d'air et de gaz est enflammé au-dessus du cylindre. Dans le tube, ce mélange est trop pauvre en oxygène pour pouvoir s'enflammer; il faut qu'il arrive au contact de l'air extérieur où il brûle avec une flamme bleue, mais très chaude.

M. Sellon, en donnant au Bunsen des dimensions convenables, et en le surmontant d'une cheminée en verre, parvint à porter au rouge un petit panier de platine. Toutefois, pour augmenter la durée du platine, il avait ajouté 10 % d'irridium. Au début, la lumière obtenue était très belle, mais, au bout de peu de temps, l'alliage perdait de ses qualités, et les petites mèches ne duraient guère plus de 50 à 60 heures. Au

commencement, on obtenait la carcel avec 75 litres, et à la fin la consommation s'élevait à 130 litres.

M. Chemin, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, construisit un bec analogue au précédent, mais le remplacement des petits paniers en platine occasionnait une dépense trop onéreuse pour permettre à cet éclairage de se développer. Tous ces essais montraient la marche à suivre et indiquaient que les recherches devaient porter particulièrement sur la fabrication du corps incandescent.

**Bec Clamond.** — La question en était là, lorsque M. Clamond entreprit ses essais. Il avait d'abord employé la double canalisation pour l'air et le gaz, mais il ne tarda pas à supprimer la conduite d'air qui compliquait inutilement l'appareil, et à la remplacer par un chauffage

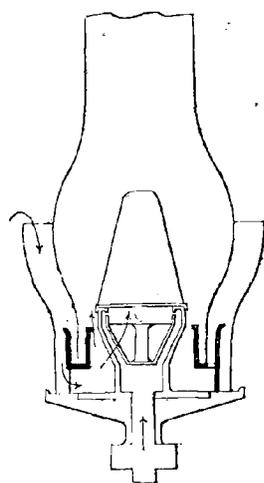


Fig. 71. — Bec Clamond.

préalable de ce fluide. Ce résultat était obtenu au moyen d'un bec tout à fait spécial consistant en deux brûleurs superposés. Le brûleur inférieur avait pour but de chauffer les diverses conduites que devait traverser l'air nécessaire à la combustion du deuxième brûleur. Une cheminée renflée à la base activait le tirage. Ce système trop compliqué et peu économique a été remplacé par un bec analogue à celui de Chaussenot. Le brûleur est à double courant d'air, au-dessus se place le corps incandescent (fig. 71). L'air s'échauffe entre la cheminée et une coupe en verre extérieure de faible hauteur.

Le corps à chauffer est en magnésie; il a l'apparence d'une petite corbeille nattée. Les filaments très fragiles se détachent de temps à autre, il en résulte une diminution dans la surface éclairante. La consommation d'un bec Clamond est très variable, depuis 150 litres jusqu'à 220, on obtient la carcel avec une dépense minimum de 80 litres, chiffre trop élevé pour rendre cet appareil bien pratique, car la durée moyenne d'un capuchon n'est que de 80 heures environ, et le remplacement fréquent de ces petits paniers finit par compenser amplement l'économie en gaz.

Ce bec à trous a encore été abandonné. Dans les appareils construits par la Société « l'Énergie », le bec à double courant d'air est remplacé

par de petits brûleurs Bunsen entourés d'une enveloppe sur laquelle repose la mèche.

Enfin on a donné à ce brûleur la forme des becs à récupération à flamme en dessous. Le brûleur est identique au précédent, mais l'air d'alimentation des Bunsen a traversé un récupérateur de chaleur. Une verrine entoure le bas de ce brûleur qui a l'aspect extérieur d'un Wenhams. On obtient alors la Carcel avec 38 litres de gaz au commencement de la mise en service du panier de magnésie.

**Bec Auer.** — Le succès du bec Clamond n'a été que très relatif et l'usage des brûleurs à incandescence semblait ne devoir jamais se généraliser, lorsque apparut le bec Auer Von Welsbach dérivé du bec Sellon, mais d'un fonctionnement bien supérieur.

L'appareil se compose d'un bec Bunsen pouvant se fixer sur tous les raccords existants; l'arrivée du gaz se fait par un dé d'admission à trois ou cinq trous suivant l'importance du bec; celle de l'air a lieu par quatre orifices percés sur la galerie qui entoure le jet gazeux et dans laquelle se produit le mélange qui s'enflamme à la partie supérieure formant couronne (fig. 72). La quantité d'air admise qui doit être voisine de 50 à 60 0/0 du volume du gaz, dépend de la dimension des trous et de leur position par rapport au jet gazeux. Avec ce brûleur les pressions élevées sont très avantageuses, elles ne doivent pas être inférieures à 19 millimètres.

Au-dessus de la flamme se trouve un petit panier supporté par une potence. La composition de ce capuchon est tenue secrète; on suppose qu'il est formé par un mélange d'oxydes de zircone, de dédyme, de lanthane etc., ou par de l'oxyde de thorium seul, en un mot de substances d'un pouvoir éclairant considérable. Il serait obtenu en trempant un capuchon en coton dans une dissolution de ces corps à l'état d'azotates, le coton serait brûlé ensuite à la flamme du chalumeau, il ne resterait que les oxydes incombustibles. Une cheminée en verre rétrécie à la base active la combustion.

La durée de ces manchons varie de 800 à 1.100 heures. Leur prix d'achat est peu élevé. Comme le panier en magnésie du bec Clamond, ils sont assez fragiles, aussi doit-on avoir soin à l'allumage de n'admettre le gaz que lorsque l'allumoir est près du bec de manière à chasser l'air par un chauffage préalable et à éviter ainsi toute explosion.

Dès la fin de l'année 1892, ces becs se sont répandus à Paris avec

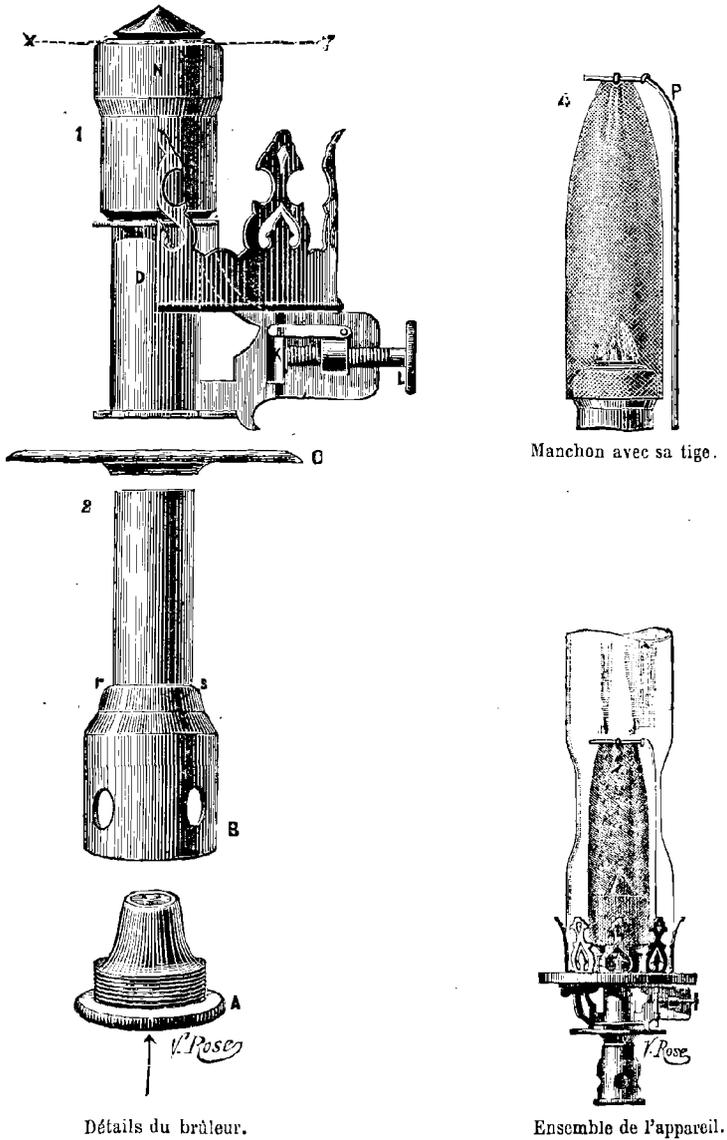


Fig. 72. — Bec Auer.

A, Dé d'admission du gaz; — B, Enveloppe dans laquelle a lieu le mélange d'air et de gaz; — C, Rondelle empêchant la flamme de l'allumoir de pénétrer dans les prises d'air du tube B; — D, Galerie par où s'échappe la flamme du chalumeau et sur laquelle est fixé le porte-verre; — K, Conduite dans laquelle s'enfonce la tige du manchon; — L, Vis servant à faire varier la longueur de la conduite K.

une très grande rapidité. Ce succès s'explique par leur rendement considérable. Le tableau suivant dressé à la Compagnie Parisienne du Gaz indique le pouvoir éclairant de ces appareils.

Dépense horaire.	Intensité sur l'horizontale.	Dépense par carcel.
48 litres	1°.041	46 litres,1
52	1.633	31,7
57	2.062	27,5
63,5	2.588	24,5
69	2.924	23,6
76	2.819	26,9

Le rendement de ce bec est très satisfaisant, on obtient la carcel avec une moyenne de 30 litres à l'heure ; mais il diminue avec le temps et la consommation atteint alors 65 litres par carcel au bout de 500 heures.

Actuellement on construit trois becs de 50, 80 et 115 litres donnant, le premier, la carcel avec 24 litres et le dernier avec 21, chiffres inférieurs à ceux du tableau précédent et dus à une construction meilleure du capuchon. On évite en outre aux clients l'ennui de changer le capuchon, il suffit de rapporter la galerie, la cheminée, la potence et le capuchon usé pour recevoir un bec tout monté. Avec ce brûleur, les becs à incandescence par le gaz sont entrés dans le domaine de la pratique et quoique d'un éclat un peu blafard, ils luttent avantageusement au point de vue de la dépense contre les lampes électriques à incandescence, ils ont même sur elles l'avantage de permettre la distinction de certaines nuances.

Enfin, pour terminer la série des becs à incandescence, il convient de citer le bec Bandsept, dont le principe consiste à chauffer un capuchon en platine par un mélange très intime et exactement dosé d'air et de gaz préparé à l'avance (fig. 73). Le brûleur muni d'un régulateur présente intérieurement une série de toiles métalliques destinées à augmenter par le frottement le mélange des deux fluides. Ce bec est encore trop récent pour avoir des résultats très précis sur son fonctionnement.

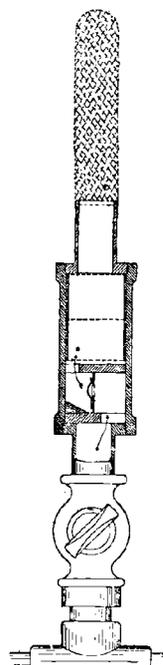


Fig. 73. — Bec  
Bandsept

### 5<sup>e</sup> BECS A GAZ CARBURÉ

Le pouvoir éclairant du gaz augmentant avec sa teneur en carbures riches, il arrive que pour certains gaz pauvres il est nécessaire d'en ajouter artificiellement. On peut le faire également pour le gaz ordinaire.

**Albocarbon.** — Un Français, nommé Barbier, a imaginé de faire cette addition dans le brûleur même en faisant passer le gaz sur de la naphthaline.

La naphthaline est un carbure solide, blanc, qui fond à 80° et se vaporise à 210. Mais déjà, même à l'état solide, elle émet des vapeurs. Les cristaux de naphthaline sont extraits du goudron de houille. On peut se demander pourquoi ce carbure qui augmente le pouvoir éclairant du gaz est retenu dans l'épuration. C'est à cause de sa grande facilité de condensation et même en hiver, par les plus grands froids, le gaz en laisse déposer dans les conduites qui ne tardent pas à être obstruées. Il faut alors chauffer ces conduites pour produire la vaporisation de la matière solide.

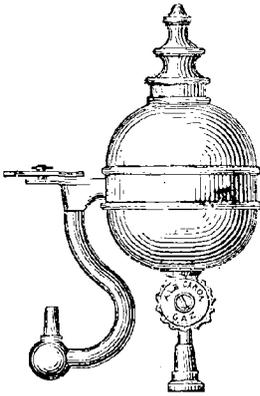


Fig. 74. — Bec à *Albocarbon*.

Dans les becs à gaz carburé, la naphthaline est placée dans un réservoir rempli aux 2/3, il est chauffé par le brûleur au moyen d'une lame métallique placée au-dessus de la flamme et qui communique par conductibilité sa chaleur au réservoir. Cette lame est mobile de manière à pouvoir modifier la surface soumise à l'action de la flamme (fig. 74).

La naphthaline liquéfiée est traversée par le courant gazeux; on dispose un ou plusieurs becs par réservoir.

Les brûleurs sont le plus souvent de simples manchesters dépensant 107 litres à l'heure avec un pouvoir éclairant de trois carrels et demi, dans ces conditions ils consomment dix-sept grammes de naphthaline à l'heure.

La lumière est très fixe et très blanche, d'où le nom *d'albocarbon* qui lui a été donné. La flamme est petite et très régulière, mais elle présente un inconvénient, celui de rappeler l'odeur pénétrante et désagréable de la naphthaline. Aussi son emploi est-il limité à l'éclairage de quelques

établissements, comme les pharmacies, épiceries, drogueries, où cette odeur est dissimulée par d'autres. Malgré cet inconvénient, l'albocarbon est assez usité, d'autant plus que son prix de revient est peu élevé et qu'il est d'un entretien et d'une manipulation faciles.

**Carburation du gaz.** — La carburation du gaz dans le brûleur n'est pas le seul système employé, on peut le carburer à sa sortie du compteur et il arrive ensuite enrichi à tous les brûleurs. A cet effet on le fait passer dans un récipient contenant des hydrocarbures liquides qu'il entraîne à l'état de vapeur. La carburation variant avec la température est inégale, de plus l'obligation de renouveler le liquide présente une source de dangers qui nécessite de grandes précautions. Malgré les nombreuses recherches ces divers inconvénients n'ont pas disparu.

Le carburateur le plus employé est celui de la Société du Gaz riche de la Ville de Paris, qui est basé sur le principe précédent, mais avec de nombreuses améliorations. Un dispositif spécial assure l'introduction automatique et continue de l'hydrocarbure qui n'est autre que de la benzine de houille; les diverses couches de liquides sont constamment mélangées.

Les deux tubes d'entrée et de sortie sont réunis par un tube intermédiaire, au moyen de robinets on peut faire circuler le gaz sans passer par le carburateur pendant le chargement de ce dernier; on évite ainsi tout risque d'incendie. Il consomme environ 55 grammes d'huile par mètre cube de gaz, le pouvoir éclairant est augmenté de moitié. Malgré ces avantages, la carburation du gaz présente trop de dangers pour que son emploi puisse être généralisé.

#### 6° APPAREILS DE RÉGLAGE. — ALLUMAGE

**Régulateurs.** — Le bon fonctionnement d'un brûleur est subordonné à certaines règles fixes; qui ont pour but de le placer toujours dans les mêmes conditions. La constance de la pression est une des plus importantes, elle doit être observée avec le plus grand soin. On a vu en effet que, lorsqu'il s'agit de brûleurs à cheminée, au moindre changement de pression, la flamme se met à filer, on est alors obligé de manœuvrer constamment les robinets. Cette régularité de la pression a également une très grande importance dans le cas des brûleurs à récupération et même avec les brûleurs à air libre.

Si, en effet, la pression augmente, le débit croît également et la quan-

tité d'air admise par le brûleur étant insuffisante, la flamme devient rouge et fumeuse ; il en résulte un dépôt de noir de fumée.

Si, au contraire, elle diminue, l'inverse se produit, le gaz brûle avec un excès d'air qui lui fait perdre une partie de son pouvoir éclairant. On voit que, dans tous les cas, il faut maintenir cette pression toujours la même.

La constance de la pression et par suite du débit d'un brûleur est obtenue au moyen de petits appareils désignés sous le nom de régulateurs de pression ou rhéomètres. D'un volume très restreint, on les place un peu avant le brûleur sur la conduite d'amenée du gaz. Le principe du dispositif des régulateurs consiste à faire déplacer sous l'action des variations de pression de petits obturateurs qui augmentent ou diminuent la section de départ du gaz suivant les besoins. Il y en a de deux sortes, les régulateurs *humides* et les régulateurs *secs*.

Les premiers ont beaucoup d'analogie avec les régulateurs d'émission, il suffit pour s'en rendre compte d'examiner un des plus employés : c'est le régulateur Giroud (fig. 75). Il est formé par une petite cloche métallique percée d'un trou et renversée sur une petite cuve contenant de la glycérine ou de l'huile d'amandes douces. La cloche est munie à sa partie supérieure d'une pointe conique pouvant s'engager, plus ou moins, dans la conduite de départ. Il en résulte que la sortie du gaz se trouve plus ou moins étranglée. On construit actuellement des becs munis de leur régulateur.

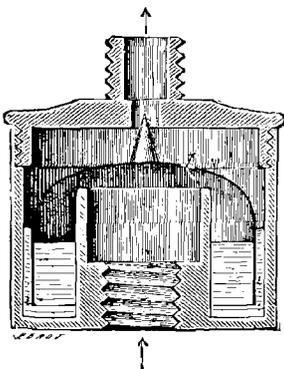


Fig. 75. — Régulateur humide.

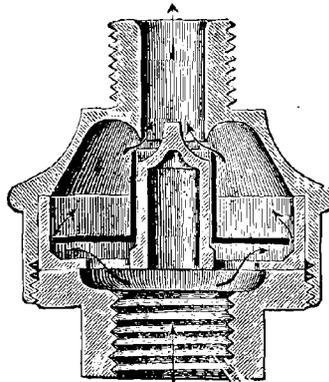


Fig. 76. — Régulateur sec.

Les régulateurs humides ont un inconvénient provenant de l'emploi d'un liquide qu'il faut renouveler de temps à autre. Aussi leur préférence

t-on souvent les régulateurs secs qui consistent en un disque métallique léger pouvant se déplacer dans le tuyau d'amenée du gaz, sous l'action du courant gazeux. Ce disque entraîne dans son mouvement un obturateur qui ferme plus ou moins l'orifice de sortie du gaz jusqu'à ce que la différence de pression exercée sur ce disque soit constante et égale à son poids. Le fonctionnement de ce rhéomètre est moins sensible que le précédent, de plus la moindre impureté peut arrêter ses mouvements, mais il ne nécessite aucun entretien, et dans les becs à grand dégagement de chaleur on n'a pas à craindre l'évaporation du liquide (fig. 76).

Les régulateurs précédents sont incomplets, ils ne peuvent servir que pour des becs à dépense fixe. On a imaginé également des rhéomètres qui permettent d'obtenir des consommations différentes. Le principe consiste à pouvoir faire varier par un réglage préalable l'orifice de sortie dans les proportions qu'on désire. Un régulateur établi dans ces conditions est celui de Bablon, le gaz sort du régulateur par des orifices dont la section peut être établie à l'avance d'après la nature et la consommation du brûleur.

Dans les lampes à récupération où le gaz arrive de haut en bas, les régulateurs précédents ne sauraient être employés directement. Le dispositif usité consiste à faire rebrousser la conduite de manière à présenter une partie où le gaz circule de bas en haut et sur laquelle on installe le régulateur; en d'autres termes, le gaz descend pour remonter ensuite et redescendre enfin au brûleur. Dans bien des cas pour diminuer cette complication on ne l'adopte que sur une colonne d'alimentation de plusieurs brûleurs; une vis s'enfonçant plus ou moins sur la conduite spéciale à chacun d'eux permet d'en fixer une fois pour toutes le débit.

Les rhéomètres sont indispensables avec les becs à récupération et à cheminée; en ce qui concerne les becs à air libre, leur emploi n'est pas forcé. On règle alors ces derniers au moyen du robinet, les indications sont fournies par les dimensions de la flamme dont la largeur ou la hauteur, suivant la nature du bec, doivent avoir une valeur déterminée. Quoiqu'il en soit, l'emploi des régulateurs est à peu près général, leur prix d'achat est vite compensé par l'économie qu'ils procurent.

**Allumage.** — L'allumage des appareils à gaz est intéressant par suite de la main-d'œuvre qu'il nécessite. A ce point de vue, le gaz est inférieur à l'électricité.

Lorsqu'il s'agit de becs ordinaires, l'allumage ne présente aucune difficulté; toutefois, pour l'éclairage public, les brûleurs étant enfermés dans une lanterne, la question de rapidité intervient. Au début, l'allumeur montait sur une échelle appuyée contre le candélabre; cet usage s'est conservé très longtemps à Londres. Actuellement, on emploie une petite lampe à huile fixée sur une perche et enfermée dans un capuchon métallique muni de petits volets; qui ont pour but de préserver la flamme contre le vent. La lampe est munie à sa partie supérieure d'un crochet destiné à la manœuvre du robinet bascule dont l'extrémité se termine par un anneau. Lorsque le papillon est à régulateur, l'allumeur ouvre le robinet en grand; dans le cas contraire, il se guide sur la largeur de la flamme. Il est alors nécessaire d'employer des agents expérimentés.

Avec les becs à récupération, l'allumage présente plus de difficulté. A l'intérieur des habitations, on emploie des petites lampes à alcool ou des allumeurs électriques à étincelles. Quel que soit le système, il est nécessaire d'enlever la coupe. Cette manœuvre est toujours longue et difficile; aussi, bien des constructeurs ont cherché à remédier à cet inconvénient au moyen de dispositions spéciales qui font la particularité de certains becs. Le robinet du brûleur manœuvré au moyen d'une deuxième perche ou de chaînes pendantes doit être ouvert lentement après avoir approché l'appareil d'allumage.

Les becs à récupération employés à l'éclairage public, sauf quelques brûleurs spéciaux, sont rarement allumés directement. La manœuvre du trapillon dont est muni la coupe de quelques-uns d'entre eux, est beaucoup trop longue. On a recours alors à une veilleuse ou à un allumeur électrique.

La veilleuse a comme inconvénient d'augmenter la consommation du brûleur puisqu'elle fonctionne toute la journée, mais cette dépense supplémentaire (15 litres à l'heure) a peu d'importance lorsqu'il s'agit de becs à fort débit. Avec les brûleurs à faible consommation, cette dépense doit entrer en ligne de compte et la veilleuse n'est plus justifiée. On emploie alors un allumeur électrique à étincelle dont le courant est fourni par une pile. L'étincelle est préférable au fil à incandescence qui ne tarde pas à se détériorer. Que l'on emploie la veilleuse ou un allumeur électrique, l'allumage est alors très facile et se fait en très peu de temps.

A Paris, un agent allume de 60 à 70 lanternes en 40 minutes, d'après

un itinéraire déterminé. Les heures d'allumage et d'extinction sont fixées par une consigne dressée à l'avance par les soins de l'administration. L'allumage commence 20 minutes avant l'heure fixée et finit 20 minutes après. A minuit, la plupart des becs intensifs ont seul leur bec de minuit allumé. Il suffit de tourner le robinet dans une position déterminée pour le mettre en service.

L'allumage est réglé de la même façon dans la plupart des villes de province. Mais encore dans bien des cas, pour diminuer les dépenses, on n'allume pas les nuits de la pleine lune, système qui a comme inconvénient de ne pas prévoir les temps couverts.

En ce qui concerne l'allumage des becs à incandescence, il est nécessaire de prendre certaines précautions. Le petit capuchon étant très fragile, il faut éviter de produire la moindre explosion. On emploie pour l'allumage des lampes à alcool ou à essence que l'on approche très près du bec avant d'ouvrir le robinet, de cette manière le gaz n'a pas le temps de se mélanger à l'air et de former avec lui un mélange détonnant qui briserait le petit manchon. Il faut employer de l'alcool ou de l'essence dont la flamme ne dégage pas de fumée qui noircirait le manchon.

---

## V. — Gaz spéciaux.

---

La houille n'est pas la seule substance employée à la production du gaz d'éclairage. Dans beaucoup de cas, il est très avantageux, sinon nécessaire, de recourir à d'autres matières qui resteraient le plus souvent sans emploi. Toutefois, il est bon de remarquer que malgré de nombreuses tentatives, ces divers procédés n'ont pu se développer comme l'éclairage au gaz de houille. Les causes de cette faible expansion sont dues surtout à la variété des systèmes qui nécessitent chaque fois des appareils spéciaux. Parmi les procédés les plus répandus, il convient de citer ceux qui ont trait à la fabrication des gaz suivants :

Gaz riche ;  
Gaz à l'eau ;  
Gaz au bois et à la tourbe ;  
Gaz à l'air.

**Gaz riche.** — On désigne sous le nom de gaz riche un composé gazeux analogue à celui de houille, mais d'un pouvoir éclairant supérieur. La matière première par excellence, qui peut fournir ce gaz, est une sorte de schiste bitumineux noir, désigné en minéralogie sous le nom d'ampélite, et connu vulgairement sous celui de boghead ou cannel coal. Les gisements très nombreux, en Ecosse, sont exploités à ciel ouvert. Il est très riche en carbures éclairants comme l'indique sa composition en centièmes :

Carbone . . . . .	5,88
Bitume et matières volatiles. . . . .	64,65
Cendres. . . . .	27,98
Eau . . . . .	1,33
Soufre. . . . .	0,16

Toutefois, cette composition n'est pas uniforme, elle varie d'un gisement à l'autre.

La préparation du gaz riche au moyen du boghead se fait d'une ma-

nière identique à celle du gaz ordinaire. La distillation est obtenue dans des cornues en fonte doublées de terre réfractaire. La matière n'augmentant pas de volume, les cornues peuvent être chargées entièrement. La distillation dure une heure avec des petites charges de 42 kilogrammes. En général, 100 kilogrammes de boghead donnent :

30 à 40 mètres cubes de gaz ;  
25 litres de goudron ;  
25 litres d'eau ammoniacale.

Il n'y a pas de coke comme résidu, mais une substance noirâtre et feuilletée formée en majeure partie de silicates terreux. L'épuration de ce gaz est très simple : on emploie un peu de chaux et d'oxyde de fer ; aussi les installations sont de faible dimension. Le gaz, à sa sortie des épurateurs, est recueilli sous un gazomètre ; il renferme :

70 à 75 d'hydrocarbures ;  
3 à 4 d'oxyde de carbone ;  
27 à 21 d'acide carbonique.

composition qui explique en partie ses qualités comme source lumineuse.

Le gaz de boghead est employé à l'éclairage intermittent des villes d'eau, des grands établissements, où le peu de frais de son installation le rend très avantageux. Il sert encore à enrichir le pouvoir éclairant du gaz ordinaire, lorsque la houille employée est trop maigre, ou dans des circonstances exceptionnelles. Mais, une des applications les plus intéressantes, est celle qui en a été faite à l'éclairage au gaz portatif.

*Gaz portatif.* — L'idée de supprimer les canalisations souterraines, et de les remplacer par des véhicules transportant le gaz de l'usine de production aux points de consommation, est déjà très ancienne. Les premiers essais sont dus à Houzeau-Muiron, de Reims, mais ils ne furent pas couronnés de succès ; ce n'est qu'en 1856, que la *Société générale du Gaz de Paris*, dirigée par Terneaux et Gandolphe, commença à donner des résultats satisfaisants. L'usine, installée dès cette époque, fonctionne encore rue de Charonne.

Dans les installations primitives, le gaz préparé était recueilli sous un gazomètre en toile imperméable, monté sur un véhicule. Un deuxième gazomètre, d'une contenance de 8 à 9 mètres cubes, était installé chez

l'abonné. La voiture se rendait à domicile, et là en exerçant une pression sur le gazomètre mobile, on transvasait le gaz dans le réservoir de l'abonné. Le procédé était simple, mais il fallait disposer d'un local suffisant pour placer ce gazomètre à demeure, et la quantité de gaz transportée était trop faible. Aussi ce système dut-il être abandonné et remplacé avantageusement par un autre, ne nécessitant que quelques réservoirs contenant du gaz comprimé.

Le gaz, à la sortie des épurateurs, est recueilli dans un gazomètre d'où il est aspiré, pour être refoulé, au moyen d'une pompe à piston plein, dans des réservoirs disposés sur un camion. Le gaz est comprimé à 20 kilogrammes ; chaque réservoir est relié à une canalisation générale ; dont il peut être isolé au moyen d'un robinet. L'abonné possède une série de récipients identiques ; comme la pression y est bien moindre, 4 à 5 kilogrammes seulement, il suffit de les réunir aux précédents pour effectuer le transvasement. La liaison se fait au moyen d'une conduite en toile, doublée de caoutchouc, et commandée par un robinet de barrage disposé dans un coffret identique à celui employé pour le gaz ordinaire. Il n'y a aucun danger ; les réservoirs sont timbrés à 20 kilogrammes ; toutefois, il faut avoir soin de les placer dans un endroit ventilé et peu fréquenté, généralement sous les combles. Une canalisation en plomb, qui n'offre rien de spécial, part de ces réservoirs pour alimenter les brûleurs distribués dans toute l'habitation. Un régulateur de pression, analogue au régulateur d'abonné dans le gaz ordinaire, ramène la pression, de 4 à 5 kilogrammes à quelques millimètres d'eau. Le gaz riche est vendu au compteur à raison de 1 franc le mètre cube ; mais, comme le pouvoir éclairant est trois ou quatre fois celui du gaz de houille, le prix finit par être le même ; le débit du compteur doit être diminué en conséquence.

Quant aux brûleurs, ils ont la forme ordinaire ; on emploie de préférence les becs à air libre, et en particulier le papillon et le manchester. Les orifices de sortie sont excessivement réduits à cause de la richesse du gaz en hydrocarbures. La consommation par bec est de 40 à 50 litres en moyenne, sous une pression de 2 à 3 millimètres. La série des brûleurs varie de 5 en 5 litres, et peut atteindre 75 litres.

On peut se demander pourquoi ce procédé n'est pas appliqué au gaz ordinaire. C'est que la compression présente un inconvénient capital, celui de faire perdre au gaz son pouvoir éclairant par suite de la condensation des hydrocarbures. Cette perte croît très rapidement avec la

pression ; c'est ainsi qu'à 30 kilogrammes, elle atteint 50 %. Dans ces dernières années, on est arrivé cependant à résoudre ce problème, et quelques industriels fournissent du gaz comprimé à 200 atmosphères. Pour résister à ces pressions énormes, on emploie des tubes spéciaux usités déjà pour emmagasiner l'oxygène et l'acide carbonique. Ces sortes de bouteilles sont formées par des tubes en acier sans soudure. Le gaz, dans ces conditions, est destiné au chauffage ; car il a perdu presque tout pouvoir éclairant. On pourrait toutefois le carburer par l'addition de naphthaline ou de toute autre substance ; mais le procédé n'a pas été appliqué.

Le gaz riche comprimé perd également de son pouvoir éclairant, mais comme la teneur en carbures éclairants est plus considérable, la perte est moins sensible. La compression donne alors naissance à un liquide recueilli avec soin, et employé à la dissolution des corps gras ou du caoutchouc. On obtient environ 100 grammes de liquide par mètre cube de gaz comprimé à 12 kilogrammes.

Le gaz portatif n'a guère été employé que dans la banlieue de Paris, où l'installation des conduites souterraines serait trop onéreuse ; mais, en dehors de cette application spéciale, il ne s'est pas généralisé.

*Gaz d'huile.* — Le boghead n'est pas seul utilisé à la production du gaz riche : les huiles minérales, les huiles végétales, les graisses, les résines, en un mot, tous les corps formés par des carbures, sont susceptibles de fournir un gaz analogue, désigné plus spécialement sous le nom de gaz à l'huile. C'est ainsi que, dans bien des filatures, l'éclairage est obtenu au moyen des graisses ou suints extraits des eaux de lavage des laines. Dans d'autres cas, on utilise les huiles lourdes provenant de la rectification du pétrole. Le principe de la fabrication est très simple : quelle que soit la matière, la décomposition est obtenue en la projetant sur une substance réfractaire portée au rouge. Il suffit ensuite de procéder à une épuration sommaire à la chaux et à l'oxyde de fer, pour obtenir un gaz propre à l'éclairage. Toutes les substances ne donnent pas la même quantité de gaz.

Le goudron de schiste produit. . . . .	35 à 40 <sup>m³</sup> par 100 kilogs
Le goudron de pétrole — . . . . .	50 à 60 —
Le pétrole brut. . . . .	60 à 75 —

Les premiers essais remontent à 1830, et ont été faits en Angleterre par Taylor, qui employait des huiles végétales. Il existe aujourd'hui

plusieurs systèmes, dont les plus importants sont ceux de Durieux, de Maring et Mertz et celui de Julius Pintsch.

Dans le système de *Durieux*, le four est formé par une cornue principale en fonte dont l'intérieur est occupé par une hélice fixe venue de fonte également avec le corps de l'appareil. L'huile arrivant par la partie supérieure, coule le long de l'hélice, où elle se décompose. Le gaz s'échappe par un orifice ménagé dans le haut de la cornue, et il se rend aux épurateurs réduits simplement à un barillet et à une colonne à coke. Cette épuration, tout à fait insuffisante, donne un gaz moins riche que dans le système suivant.

Le procédé *Maring* et *Mertz* donne de bons résultats. Il est remarquable surtout par la petite dimension de tout l'appareil et par une épuration complète. La cornue est conique, tout au moins dans la partie qui plonge dans le foyer. L'alimentation d'huile se fait par un tube arrivant dans le fond de la chaudière ; un robinet à secteur en règle le débit. Le gaz à sa sortie se rend dans une cuve à eau ou barillet, et de là à l'épurateur chimique formé par une cuve à quatre compartiments.

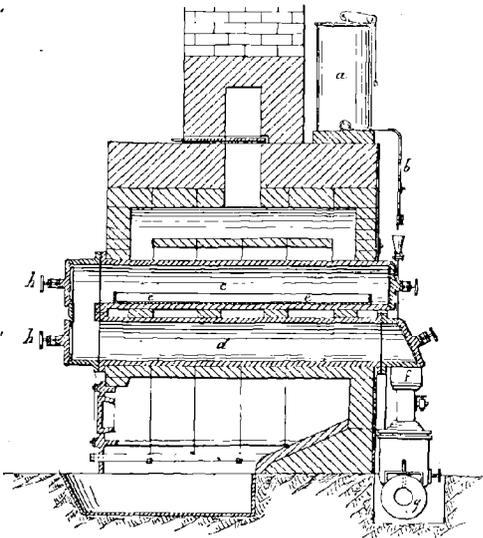


Fig. 77.— Four *Pintsch*.

- a*, réservoir contenant l'huile ;
- b*, tube d'alimentation ;
- c*, cornue supérieure recevant l'huile dans le bac *e* ;
- d*, cornue inférieure où se complète la décomposition ;
- f*, condensateur ;
- g*, canalisation amenant le gaz sous le gazomètre ;
- hh*, tampons de fermeture des cornues.

Le gaz arrive dans le bas, remonte dans deux compartiments pour redescendre dans les deux autres. On peut, dans chacun d'eux, disposer soit de la chaux, de l'oxyde de fer ou toute autre substance. Le combustible obtenu est parfaitement pur.

Le système *Pintsch* est analogue aux précédents. Le four comporte deux cornues en fonte jumelées, commu-

niquant entre elles par la partie avant. Elles sont fermées par des tampons analogues à ceux des cornues (fig. 77) pour la préparation du gaz ordinaire. L'huile arrive d'un récipient supérieur au moyen d'un siphon

de distribution : un robinet à vis en règle le débit. Elle tombe dans un bac en tôle placé sur la sole de la cornue supérieure, où elle se volatilise et se décompose en partie. La décomposition pyrogénée se complète en passant dans la deuxième cornue. Le bac en tôle n'a du reste d'autre but que de retenir les impuretés de l'huile. Le gaz à sa sortie passe dans un cylindre vertical en tôle, formant condensateur, et se rend ensuite dans le barillet.

En général, on dispose deux paires de cornues par four, alimentées par le même réservoir. La production s'élève à 8<sup>m</sup>3,5 par cornues jumelées et par heure.

Le gaz est reçu ensuite sous un gazomètre, d'où il est extrait suivant les besoins.

*Éclairage des voitures de chemins de fer.* — L'application la plus importante du gaz à l'huile est celle qu'en font les Compagnies de chemins de fer à l'éclairage de leurs voitures.

Le gaz, recueilli sous un gazomètre, est comprimé dans des réservoirs ou accumulateurs à 12 kilogrammes. Ce sont ces accumulateurs qui servent à alimenter les récipients des voitures. Une canalisation métallique placée le long de certaines voies, dans les gares, se trouve munie de bouches de chargement en fonte, fermées par un couvercle à charnière, aux points où peut se faire l'emplissage d'un véhicule.

Dans le système Camberlin, appliqué au chemin de fer de l'État belge, les réservoirs sont placés dans des fourgons en tête et en queue du train. Toutes les voitures sont reliées par une canalisation générale formée par des tubes en caoutchouc aboutissant aux fourgons; il y a un robinet aux deux extrémités de chaque voiture. Comme on peut se trouver dans l'obligation d'isoler l'un des fourgons, quelques voitures portent un réservoir pouvant alimenter le reste du train pendant 5 à 8 minutes, durée assez longue pour une manœuvre en gare.

Il est nécessaire d'ouvrir le robinet de prise de gaz des réservoirs une dizaine de minutes avant l'allumage, pour permettre au gaz de chasser l'air des conduites et d'arriver jusqu'à la dernière voiture. Si on est pressé par le temps, on se contente de tourner, dans une position spéciale, le robinet de la dernière voiture, par rapport au fourgon des réservoirs. Dans ces conditions, la conduite est mise en communication directement avec l'atmosphère, et l'air peut s'échapper librement. L'allumage a lieu instantanément, et l'opération se termine par la fermeture du dernier robinet.

Outre les réservoirs, le fourgon contient un régulateur de pression et des manomètres indicateurs. A une atmosphère de pression, correspondent 2.500 litres de gaz. Les brûleurs sont du type Manchester n<sup>o</sup> 2, consommant 40 litres à l'heure. Lorsque la pression est descendue à 2 atmosphères, on renvoie le fourgon au chargement; il revient à 12 ou 15 atmosphères. Dans ce dispositif, les brûleurs ne sont pas munis de robinets spéciaux; il n'y en a qu'un à chaque extrémité de la voiture.

Ce système a comme inconvénient de donner lieu à des fuites considérables, tout en rendant les voitures solidaires; aussi lui préfère-t-on le procédé Hugon, essayé à la Compagnie d'Orléans en 1878, et généralisé depuis.

Chaque voiture est munie d'un ou deux réservoirs, communiquant entre eux, et placés au dessous ou au-dessus de la voiture. Pour remplir de gaz une voiture, on l'amène devant une des bouches de chargement, et, au moyen d'un tube de 7 à 8 mètres de long, formé par une bande de toile, entourée de deux enveloppes de caoutchouc, on fait communiquer la voiture avec les accumulateurs. Un manomètre, fixé sur le tuyau de chargement du côté de la voiture, indique la pression; on arrête lorsqu'elle s'élève à 7 kilogrammes. Un deuxième manomètre, fixé sur un des brancards de la voiture, indique celle du ou des réservoirs.

Les brûleurs, enfermés dans les lanternes, sont branchés sur une conduite générale communiquant avec le réservoir. Un régulateur, intercalé sur cette conduite, ramène la pression à quelques millimètres d'eau, et un robinet principal commande cette conduite générale, indépendamment des robinets spéciaux de chaque brûleur. Souvent au robinet principal est adjoint un deuxième robinet permettant de mettre tous les appareils en veilleuses; il est employé en particulier le jour pour franchir les tunnels.

Les brûleurs dont on se sert sont, en général, du type Manchester à trous microscopiques, et consomment 30 litres à l'heure (Compagnie de l'Est). Ils sont enfermés dans une lanterne; l'alimentation d'air se fait par des ouvertures ménagées sur le corps de cette lanterne. On les protège contre les courants d'air, à l'intérieur du compartiment, au moyen d'une coupe en verre. L'appareil se complète le plus souvent par un réflecteur en tôle émaillée ou en porcelaine. On cherche quelquefois à réchauffer l'air au moyen des produits de la combustion, le brûleur est alors entouré d'une coupe (fig. 78) renfermée dans la première.

Dans ces dernières années, des essais ont été faits à la Compagnie de l'Ouest, pour tâcher d'augmenter le pouvoir éclairant du gaz, en le faisant barboter dans un carburateur contenant de la naphthaline. Le réservoir était renfermé dans la lanterne même de l'appareil. Ce système, analogue à l'albocarbon, n'a pas été généralisé.

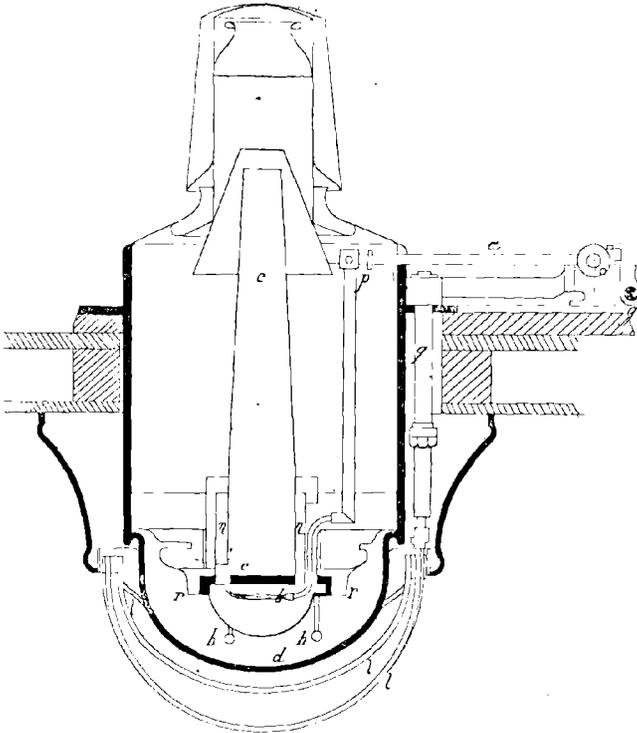


Fig. 78. — Lampe à gaz du Chemin de fer de l'Est.

*a*, Genouillère articulée autour de la conduite *g*; — *b*, Bec Manchester d'un débit de 30 litres; — *c*, Cheminée conique terminée dans le bas par une pastille en lave forçant la flamme à se diriger horizontalement; — *d*, Coupe en cristal; — *g*, Conduite principale placée sur le pavillon de la voiture; — *h, h*, Supports du réflecteur en tôle émaillée *r* servant à maintenir en outre la petite coupe en cristal qui entoure la flamme; — *n, n*, Chambre où se chauffe l'air de la combustion; — *p*, Robinet permettant d'isoler le brûleur de la conduite principale; — *l, l*, Store dont la manœuvre met le bec en veilleuse par l'intermédiaire de la tige *g*.

Cette application de l'éclairage au gaz des voitures de chemins de fer a donné de l'importance à la fabrication du gaz à l'huile, car, malgré les nombreuses tentatives, on n'a pas encore pu lui substituer le gaz de houille comprimé.

**Gaz de tourbe et de bois.** — Il suffit de se rappeler les essais de Philippe Lebon pour savoir que le bois peut donner du gaz d'éclai-

rage, ce fut du reste le premier mode de fabrication de ce fluide, mais ce procédé dut être abandonné à peu près partout où il avait été installé, à cause du faible pouvoir éclairant du gaz obtenu. Les essais ne furent repris qu'en 1869, par Pettenkofer, de Munich. En cherchant les causes de l'insuccès de Lebon, Pettenkofer remarqua, qu'en portant au rouge cerise les produits de la distillation du bois, il obtenait un produit beaucoup plus riche en hydrocarbures éclairants. Cette observation a été le point de départ de l'industrie du gaz de bois créée par Riedinger.

La tourbe et le bois, calcinés en vase clos, émettent, à basse température, des vapeurs condensables riches en produits de toutes sortes, comme de l'acide acétique, de l'esprit de bois, des goudrons. Le résidu de la distillation est du charbon de bois très recherché pour les besoins domestiques. C'est du reste dans le but de se procurer ces diverses matières, qu'on distille spécialement du bois. Dans ces conditions, en même temps que ces vapeurs, il se dégage du gaz combustible, mais son pouvoir éclairant est si faible, et il contient tellement d'impuretés qu'on le laisse perdre le plus souvent.

Lorsqu'on se propose d'obtenir du gaz d'éclairage, la fabrication n'est plus la même. Il faut empêcher les vapeurs de se condenser, et les porter à une température élevée pour les décomposer. On résume en quelque sorte la fabrication du gaz riche : les vapeurs aussitôt produites sont décomposées. On arrive à ce résultat en chauffant fortement les cornues contenant le bois ou la tourbe.

Le choix de la nature du bois, en vue de préparer du gaz, n'a aucune importance : le rendement est sensiblement le même pour toutes les essences, il atteint en moyenne 33 mètres cubes par 100 kilogrammes de bois ou de tourbe. La seule condition à rechercher est une dessiccation complète. On comprend aisément que l'eau qu'ils pourraient contenir augmenterait inutilement, soit directement, soit par les produits de sa décomposition, le volume du gaz, tout en diminuant le pouvoir éclairant.

La distillation se fait dans des cornues en fonte, de forme analogue à celle employée pour la houille. On adopte la fonte, car la décomposition des vapeurs absorbe une grande quantité de chaleur, il faut, pour la restituer rapidement, se servir d'un corps très conducteur de la chaleur. La charge de ces cornues varie de 50 à 75 kilogrammes de tourbe ou de bois desséchés. Une opération dure une heure et demie, mais c'est pendant la première heure que se produit la moitié de la quantité du

gaz. Le chauffage doit être très vif; c'est la condition indispensable. Lorsque la distillation est terminée, on fait tomber le bois dans les étouffoirs où on l'éteint très rapidement; il donne un charbon de bois très léger.

Le gaz, à sa sortie des cornues, est envoyé à l'épuration; un barillet le débarrasse du goudron et de l'acide acétique qu'il renferme; ce barillet doit être en cuivre, car l'acide ne tarderait pas à ronger la fonte ou la tôle de fer. A la suite du barillet, se trouvent installés les laveurs et les réfrigérants, identiques à ceux du gaz de houille; enfin, a lieu l'épuration chimique. Elle a une très grande importance: le gaz de bois renferme  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{3}$  de son volume total d'acide carbonique. On emploie de la chaux éteinte, mélangée avec des matières capables de la diviser, comme de la tannée, de la mousse, de la sciure de bois. Elle est disposée en couches de 5 à 6 millimètres, que le gaz traverse méthodiquement. Il faut de 100 à 110 kilogrammes de chaux pour 100 mètres cubes de gaz.

Le combustible obtenu a des propriétés analogues à celles du gaz de houille; il est plus lourd; sa densité varie de 0,600 à 0,700, suivant sa teneur en oxyde de carbone. Il n'est pas aussi riche en produits éclairants. Les brûleurs ont des dimensions plus considérables, de manière à le débiter sous une plus forte épaisseur. Il est caractérisé par l'absence d'acide sulfhydrique; il en résulte qu'il ne noircit pas les peintures, et que sa flamme ne dégage pas d'acide sulfureux.

Au point de vue de la fabrication, il a comme avantage de donner, à égalité de poids, plus de gaz que la houille; la distillation étant plus rapide, les appareils sont moins encombrants; par contre, il exige pour son épuration des quantités de chaux considérables dont il faut toujours tenir compte. Les sous-produits sont assez recherchés; quelques-uns, comme le goudron de tourbe, renferment de la paraffine de première qualité.

**Gaz à l'eau.** — Le charbon, porté au rouge, décompose l'eau en ses divers éléments, et le résultat final de cette action chimique est un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone. Ces deux gaz, peu éclairants par eux-mêmes, peuvent servir directement à la production des hautes températures nécessaires à l'éclairage par incandescence, ou bien ils peuvent être mélangés à des carbures riches, et acquérir ainsi artificiellement la quantité de carbone indispensable à toute source lu-

mineuse. Ces deux principes servent de base à tous les procédés imaginés pour employer ce gaz à l'éclairage.

En 1834, M. Jobard, en Belgique, avait pris un brevet dans ce but. Le système consistait à faire passer de la vapeur d'eau successivement dans trois cornues verticales contenant du coke; elles étaient accolées l'une à l'autre. La vapeur d'eau arrivait dans le haut de la première, se décomposait au contact du coke fortement chauffé, elle remontait dans la deuxième cornue, où se complétait la décomposition. Enfin, dans la troisième, le gaz se mélangeait à des huiles de schiste ou de goudron. Jobard vint à Paris pour exploiter son procédé; il s'associa avec Selligues, qui s'occupait spécialement alors d'huiles de schiste; mais ils ne réussirent pas dans cette voie.

En 1846, M. Gillard imagina d'utiliser la combustion du gaz à l'eau pour porter à l'incandescence un cylindre en fils de platine tissés. Le gaz était produit dans deux cornues en fonte contenant du charbon de bois nécessaire à la décomposition de la vapeur d'eau. La fonte était préférable à la terre réfractaire, dont la porosité trop considérable laissait échapper les gaz. Un tube horizontal distribuait dans les cornues la vapeur d'eau au-dessus du charbon. Le gaz, n'étant plus enrichi comme précédemment devait être purifié avec soin. Un barillet retenait la vapeur d'eau non décomposée, et un épurateur à chaux absorbait l'acide carbonique formé pendant la réaction. Comme on l'a déjà vu, ce procédé fut essayé à l'éclairage public de la ville de Narbonne, et dans les ateliers Christophle à Paris; mais, le prix de revient trop élevé du gaz, le renouvellement trop fréquent des cylindres de platine, rendaient cet éclairage dispendieux. Il fut du reste abandonné.

Dans l'intervalle, Gillard avait modifié son procédé : le charbon de bois avait été remplacé par du coke disposé dans une colonne verticale en fonte, doublée entièrement de briques réfractaires. Dans le bas, il avait placé une double canalisation d'air et d'eau. L'air servait à allumer le coke; lorsque la température était suffisamment élevée, on le remplaçait par de la vapeur d'eau. La décomposition de cette dernière absorbant de la chaleur, le coke se refroidissait; en changeant de nouveau de fluide on le rallumait.

Tessié du Mothay avait conservé le principe de cette préparation pour obtenir le gaz nécessaire à ses expériences d'éclairage par incandescence; il insufflait de l'air dans un gazogène au coke et lorsqu'il était suffisamment allumé, il le remplaçait par de la vapeur d'eau. Les

produits de ces deux réactions étaient recueillis dans deux gazomètres distincts. Pour rendre la fabrication continue, il disposait de trois gazogènes identiques. Les essais avaient eu lieu à Commines, dans le département du Nord. Tessié du Mothay essaya son système à New-York (1876), mais avec une modification dans l'application : le gaz à l'eau était mélangé à du gaz riche provenant du pétrole. Après sa mort, les essais furent repris par des Américains, et par Strong en particulier. Il s'est alors produit un fait qui se renouvelle assez souvent : le procédé de fabrication de Tessié du Mothay est revenu de nouveau en Europe sous le nom de gaz Strong.

Enfin, après de nombreuses péripéties, le gaz à l'eau n'a pas été conservé pour l'éclairage par incandescence, car les canalisations sont très difficiles à installer à cause des fuites ; de plus, comme il ne dégage pas d'odeur, il est à peu près impossible de s'apercevoir de ces pertes, et l'on court de grands risques d'explosion.

On se contente aujourd'hui d'enrichir le gaz à l'eau par des carbures d'huile minérale ou de goudron. Quant à son mode de fabrication, on tâche de le rendre aussi rudimentaire que possible. On dispose actuellement de trois procédés un peu différents :

1<sup>o</sup> Le gaz produit dans une cornue, contenant du coke, est carburé dans une seconde cornue, où il est mis en contact avec de la vapeur d'huile, produite par un vaporisateur spécial ; ces cornues sont chauffées extérieurement ;

2<sup>o</sup> La cornue est remplacée par un gazogène contenant du coke en ignition ; la carburation se fait dans un deuxième appareil à foyer spécial. Le gazogène fournit lui-même la chaleur nécessaire à l'opération ;

3<sup>o</sup> On emploie un gazogène qui, dans une seule opération, produit à la fois la décomposition et la carburation ; il n'y a qu'un seul appareil. Ce procédé le plus simple est aussi le plus avantageux.

L'éclairage au gaz à l'eau, enrichi par des carbures, est très répandu en Amérique, où la houille, destinée au gaz d'éclairage, fait souvent défaut. On peut l'employer avantageusement dans les grandes usines, les petites villes et les divers centres éloignés d'usines à gaz. En France, le système est peu usité ; on ne peut guère citer, comme usine intéressante, que celle de La Bourboule installée par M. Jouanne. La vapeur d'eau est envoyée, concurremment avec un filet d'huile lourde, dans une cornue contenant du coke incandescent ; il se produit à la fois du gaz riche et du gaz à l'eau qui se mélangent à l'état naissant. Le gaz ainsi pré-

paré passe sur le coke d'une deuxième cornue, où le mélange acquiert une grande fixité. Il sort de cette cornue pour barboter dans l'eau d'un barillet, où se produit la condensation de la vapeur d'eau entraînée. L'avantage de ce procédé est qu'on peut faire varier le débit du gaz ou de la vapeur à volonté, suivant la nature du produit que l'on veut obtenir.

**Gaz à l'air.** — C'est dans le but d'utiliser les huiles provenant des goudrons et des schistes qu'ont été faits les premiers essais d'éclairage au gaz à l'air. Le principe consiste à charger de carbures éclairants de l'air mis en contact avec ces huiles. Cet éclairage tient le milieu entre celui au gaz et celui à l'essence de pétrole. Les appareils employés sont désignés sous le nom de *carburateurs*.

Les premières tentatives furent faites par Beale, en Angleterre (1834), puis reprises et perfectionnées en France par Busson Dumurier, son associé. Le brûleur était constitué par un tube métallique fermé à sa partie supérieure par un disque percé de trous pour le passage du gaz. Le liquide carburateur, qui n'était autre que de l'huile de schiste, occupait le fond du brûleur. Un ajutage, dont l'orifice était dirigé vers le bas, amenait de l'air comprimé à 3 centimètres d'eau. Le mélange enflammé donnait une flamme semblable à celle du gaz. Les premières expériences eurent lieu rue Laffitte, devant un public élégant. Malheureusement, le jet gazeux ayant entraîné avec lui des gouttelettes d'huile, tous les vêtements furent tachés, et dès le début, l'appareil de Busson Dumurier se trouva condamné.

La question du gaz à l'air a cependant préoccupé de tout temps les inventeurs, et, depuis le photogène de Montgruel (1860) jusqu'à tous les gaz à bon marché, gaz pour tous, de notre époque, le nombre des carburateurs a été très considérable.

Le principe n'a pas été modifié, et c'est plutôt par les détails que ces divers carburateurs diffèrent entre eux. Le liquide employé est de la gazoline, ou essence de pétrole d'une densité de 0,630. D'une très grande volatilité, cette substance se mélange très facilement avec l'air, que l'on peut envoyer par compression ou aspiration. On est donc obligé d'avoir recours à une force motrice quelconque. Très souvent on se sert du gaz lui-même pour faire mouvoir un petit moteur.

Dans un très grand nombre de systèmes, comme celui de M. *Varloud*, par exemple, on se contente d'aspirer de l'air qu'on fait passer sur de la

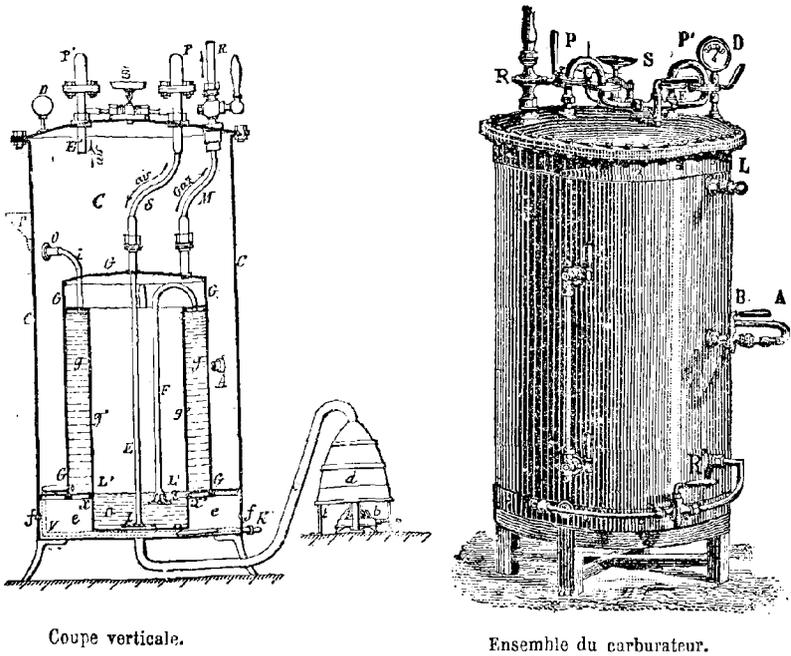
gazoline. Le procédé est incomplet; la couche de liquide n'ayant pas une épaisseur constante, il en résulte que la carburation de l'air n'est pas uniforme, et qu'elle est plus forte au commencement qu'à la fin. De plus, l'évaporation de l'huile se faisant en absorbant de la chaleur, l'abaissement de la température n'est pas uniforme, d'où nouvelle cause de variation du pouvoir éclairant du gaz : aussi le fonctionnement de ce carburateur est-il très irrégulier.

Dans le carburateur ou gazéificateur *Lothammer*, ces divers inconvénients ont été évités. C'est un des plus récents. Il se compose d'un réservoir contenant la gazoline à 0,650 de densité. Le niveau du liquide dans ce réservoir est constant, de manière à ce que l'air amené sous pression traverse toujours la même quantité de gazoline. L'alimentation se fait d'une manière analogue à celle des lampes à huile à niveau constant; la hauteur du liquide dans le réservoir est régularisée au moyen d'un siphon (fig. 79). Ce premier récipient est enfermé dans un deuxième réservoir avec lequel il n'a aucune communication directe et où débouche l'air comprimé. Cet air arrive ensuite au fond du réservoir à gazoline par une pomme d'arrosoir le distribuant horizontalement. Il a à traverser au préalable un régulateur de pression placé sur le dôme du cylindre extérieur, de manière à ce que la flamme des brûleurs ne subisse aucune oscillation dans leur marche, quel que soit le nombre de becs en service. Pour maintenir la température de la gazoline constante, tout autour du réservoir qui la contient, on fait circuler de l'air chaud provenant d'un fourneau extérieur en terre réfractaire chauffé par un brûleur à gaz. Cet air chaud s'échappe ensuite à travers des trous ménagés sur la deuxième enveloppe. La compression de l'air est obtenue au moyen d'un gazomètre ou d'un moteur à gaz d'air.

La consommation de gazoline est de 0 lit. 50 par mètre cube de gaz, et, comme elle coûte 0 fr. 50 environ le litre, le mètre cube de gaz revient à peu près à 0 fr. 30. Mais ce chiffre se trouverait diminué par la puissance lumineuse de ce combustible, qui serait de moitié plus élevée que celle du gaz de houille.

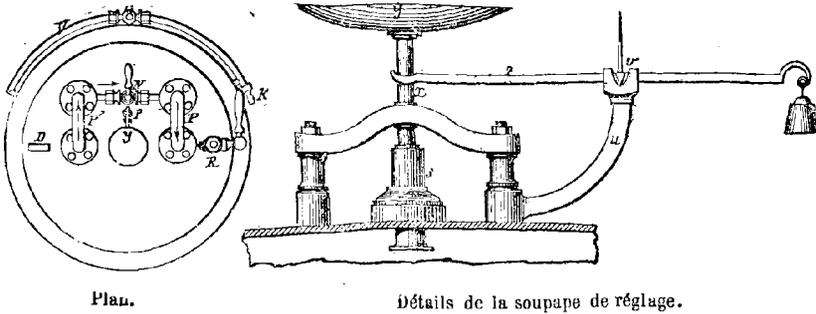
Le carburateur *Jaurez* est différent des systèmes précédents. La gazoline vaporisée passe dans un injecteur qui aspire l'air nécessaire au mélange. La cuve, contenant le liquide, est surmontée d'un gazomètre à joint hydraulique dans lequel s'accumule le gaz préparé.

Pour vaporiser la gazoline, il emploie une chaudière lenticulaire chauffée par le gaz lui-même. Il faut amorcer l'appareil. A cet effet, au



Coupe verticale.

Ensemble du carburateur.



Plan.

Détails de la soupape de réglage.

Fig. 79. — Carburateur *Lothammer*.

A, Arrivée de l'air qui se rend dans les deux conduites à soupape PP' séparées par le robinet N pour pénétrer ensuite par s dans le carburateur proprement dit G et ressortir à l'état de gaz par M; — R, Robinet de sortie du gaz; — La gazoline versée en gg par l'entonnoir T et le conduit O se rend dans le réservoir h par le tube inférieur V, K muni du robinet R'; — Cet écoulement a lieu lorsque l'orifice du siphon F est mis à découvert et laisse pénétrer l'air en g; — ee, Chambre de chauffe de la gazoline. Le mélange gazeux provenant du foyer d pénètre dans e et sort en ff; — D, Manomètre indiquant la pression réglée par la soupape S s'ouvrant directement sur le réservoir C.

moyen d'une poire en caoutchouc, on commence à injecter de la gazoline dans le brûleur placé sous la chaudière. Lorsque la chaleur est suffisante, on ouvre l'injecteur qui alimente le gazomètre. Un régulateur de pression fixe le débit de ce dernier d'après le nombre de becs en service.

A l'inverse du gaz riche, les brûleurs employés sont des becs à trous avec cheminée; on peut se servir également des brûleurs à récupération. La lumière obtenue rappelle celle du gaz de houille. Le reste de l'installation ne présente rien de particulier.

L'emploi du gaz à l'air doit être très limité; on doit l'utiliser dans les maisons isolées, les châteaux, où il est impossible de se procurer d'autres moyens d'éclairage. Il présente en réalité de grands dangers. Lorsque la quantité d'air est trop considérable par rapport à celle de l'essence, le mélange devient explosif. Généralement, les accidents se produisent au moment où l'on ajoute du liquide dans les récipients. La gazoline, très volatile, émet des vapeurs considérables à la température ordinaire, qui prennent feu au contact d'un corps incandescent. Aussi ne saurait-on prendre trop de précautions pour le chargement de ces appareils.

---



## QUATRIÈME PARTIE

---

# ÉLECTRICITÉ

---

### I. — Historique.

L'éclairage serait resté longtemps stationnaire, si l'électricité n'était intervenue, entraînant dans sa marche en avant tous les autres systèmes, car il faut bien le reconnaître, c'est à elle que sont dus tous les progrès faits par les diverses sources lumineuses dans ces dernières années.

Quel que soit le mode de production, l'éclairage électrique se présente sous deux formes bien distinctes : *l'arc voltaïque* et la *lampe à incandescence*.

La découverte de l'arc voltaïque n'est pas très ancienne, elle remonte au commencement du siècle. Sur le circuit d'une batterie de piles de 2.000 éléments, le physicien anglais Humphry Davy avait imaginé d'intercaler deux baguettes en charbon de bois éteintes dans le mercure. Ces baguettes en contact d'abord étaient ensuite écartées de quelques millimètres et dans l'intervalle jaillissait une lumière vive, éblouissante à qui sa forme courbe fit donner le nom d'arc voltaïque. L'expérience faite en 1813, devant la Société Royale de Londres, eut un énorme succès. Les charbons s'usant très rapidement, pour augmenter leur durée et empêcher toute combustion, Davy imagina de faire jaillir l'arc dans le vide. Il put ainsi étudier les propriétés de la source lumineuse qu'il venait de trouver.

La découverte de Davy souleva partout un vif sentiment de curiosité, et son expérience fut reproduite dans tous les cabinets de physique de l'Europe. Pendant longtemps, on se contenta de la répéter sans en tirer grand profit. Les constructeurs surtout vulgarisaient la connaissance de

l'arc en le reproduisant dans toutes les fêtes. A Paris, Deleuil, en 1844 de sa maison du quai Conti, éclairait le terre-plein du Pont-Neuf où tout le monde venait admirer la grande puissance de la nouvelle source lumineuse. Place de la Concorde et boulevard Bonne-Nouvelle, Archereau avait installé tout un système de projections électriques, qui excitaient l'admiration de la foule. Mais à part ces quelques essais et les expériences de laboratoire, l'arc ne rendait pas de grands services. La source d'énergie du courant était toujours la pile, et la lampe électrique se réduisait à deux porte-charbons, que l'opérateur déplaçait à la main, ou par l'intermédiaire d'une crémaillère. Archereau avait bien imaginé un système de porte-charbons (1847) se rapprochant sous l'action du courant, mais l'appareil fonctionnait assez mal, et nécessitait toujours l'intervention de l'opérateur. De même en Angleterre, Thomas Wright se servait d'une lampe dans laquelle l'avancement des crayons en forme de disque se faisait mécaniquement sous l'action de deux mouvements d'horlogerie, mais leur marche trop régulière n'était pas en rapport avec leur usure.

La question en était à ce point, lorsque Foucault en France et Staite en Angleterre, arrivèrent à construire presque en même temps (1848) la première lampe à arc régulier. L'avancement progressif des charbons avait lieu sous l'action de mouvements d'horlogerie, mais le courant réglait lui-même cette action d'après les variations de la lumière, d'où le nom de *régulateurs* donné souvent aux lampes à arc. Foucault avait apporté également une autre amélioration ; au lieu de charbon de bois, il employait du charbon des cornues à gaz, dont l'usure était beaucoup plus lente.

On commença dès lors à vouloir utiliser la lumière à arc à l'éclairage. MM. Lacassagne et Thiers, qui avaient imaginé une lampe (1856) en firent l'application d'abord à la Rue Impériale (rue de la République) à Lyon et au port de Toulon. Sur l'Arc de Triomphe de l'Étoile à Paris, ils avaient placé également deux de ces régulateurs et, au moyen de réflecteurs, ils envoyaient la lumière dans les avenues avoisinantes. Mais ce mode d'éclairage, malgré sa beauté, présentait des inconvénients sérieux ; l'obligation de visiter les piles nombreuses, et de surveiller les régulateurs dont le fonctionnement laissait à désirer le rendaient impraticable.

Il ne se passait guère de fête, que l'éclairage électrique ne rehaussât de son vif éclat. En 1867, lors du passage de l'empereur de Russie et

du roi de Prusse à Paris, le jardin des Tuileries fut éclairé au moyen de 32 régulateurs du système Serrin, qui datait déjà de 1839. Ils étaient alimentés par 1.600 éléments Bunsen; le succès fut immense, et la conséquence fut de créer pour l'électricité une application importante : celle de l'éclairage des fêtes publiques.

La lumière électrique était encore employée dans des circonstances spéciales. Lorsqu'il s'agissait de terminer des travaux urgents on lui demandait de fournir, pendant la nuit, la lumière intense nécessaire à leur rapide exécution. C'est ainsi qu'ont été construits le pont de Kehl, le pont Notre-Dame, le Palais de l'Industrie (1855).

La couleur de l'arc voltaïque absolument différente de celle des flammes ordinaires et l'apparence particulière qu'il peut prendre dans certaines conditions le firent adopter dès son apparition par les théâtres dans leurs mises en scène, pour la production de certains effets de lune ou d'arc-en-ciel. Colladon de Genève, dans un but identique, l'avait appliqué à l'éclairage des fontaines lumineuses.

Mais il faut reconnaître que toutes ces applications spéciales, ne fournissaient pas à l'électricité un débouché bien important et qu'on ne devait pas la considérer comme un procédé d'éclairage courant. Les lampes ou régulateurs ne manquaient pas, au contraire, leur fonctionnement était satisfaisant, mais ce que l'on ne pouvait trouver, c'était une source d'énergie suffisante et d'un prix peu élevé qui permit son emploi permanent.

Aussi le développement de cet éclairage fut-il très limité jusqu'au moment où les machines d'induction firent leur apparition.

La machine d'induction devait en effet changer complètement la question, car elle a permis d'utiliser la puissance presque illimitée de la machine à vapeur ou des forces naturelles. Sous un volume restreint, l'énergie électrique engendrée, est autrement importante que celle de la pile, aussi dès son apparition, cette dernière a été reléguée au second plan, ne devant plus servir qu'aux éclairages de faible importance. Au début il y avait bien une difficulté, celle d'avoir une machine par lampe, mais elle n'a été qu'un obstacle de courte durée au développement de l'éclairage électrique.

La découverte des phénomènes d'induction a été faite par le physicien anglais Faraday en 1830, mais leur application aux machines est beaucoup plus récente.

La première machine d'induction d'une certaine importance date de

1849, elle est due à l'abbé Nollet. Devenue plus tard la possession de la Compagnie l'Alliance, cette machine fut essayée d'abord à l'éclairage du phare de la Hève. Son fonctionnement très satisfaisant la fit adopter dans la suite d'une façon générale pour l'éclairage des phares en France et en Angleterre. En 1867, un phare placé au centre de l'Exposition, éclairait au moyen d'une lampe Serrin tout le voisinage.

Cette machine ne devait pas tarder à se perfectionner, dès 1864, Paccinotti avait fait construire une machine d'induction qui, à l'inverse des précédentes, aurait pu donner des courants toujours de même sens, c'est-à-dire identiques à ceux de la pile. Mais la machine de Paccinotti, pas plus que celle de Worms de Romilly, imaginée postérieurement, ne furent appliquées. Ce n'est que six ans plus tard (1870), que Zénobe Gramme retrouva la première machine de ce genre. Plus heureux que la plupart des inventeurs, Gramme a recueilli les fruits de son travail; ses dynamos et celles de Siemens en Allemagne, ont été le point de départ des nombreuses machines électriques construites depuis et répandues en si grand nombre. Il convient de noter cependant que malgré les nombreuses améliorations, le rendement des machines d'induction n'a pas sensiblement augmenté, ces deux constructeurs ayant atteint dès le début un degré de perfectionnement avancé.

La première installation importante fut celle des ateliers Gramme (Novembre 1873) où ses machines alimentaient des régulateurs Serrin. A peu près à la même époque, les théâtres, les grandes industries, les grands magasins adoptèrent également la puissante intensité de cette nouvelle source lumineuse pour favoriser par un bel éclairage leur mouvement considérable.

Les crayons eux-mêmes avaient été perfectionnés; au charbon de cornue de Foucault, qui donnait une lumière irrégulière à cause de son peu d'homogénéité, se substituèrent les charbons artificiels de Jacquelin, Carré et Gauduin.

Les installations étaient fort simples en principe: une machine à vapeur mettait en mouvement plusieurs dynamos, et, à chaque dynamo, correspondait un régulateur ou monophote. Il y avait autant de générateurs que de lampes, et, malgré les essais de Deleuil, Leroux et autres physiciens, on n'était pas encore parvenu à alimenter plusieurs lampes avec une seule machine, c'est-à-dire que la solution du problème de la division de la lumière n'était pas encore trouvée.

En 1876, un officier russe, Jablochhoff, frappé de la complication que

présentent les lampes à arc, avait imaginé un appareil beaucoup plus simple, désigné sous le nom de bougie, dans lequel tout mécanisme était supprimé. Il obtint de la ville de Paris l'autorisation de l'essayer à l'éclairage public de l'avenue de l'Opéra, pendant l'Exposition de 1878. Deux machines électriques alimentaient 32 candélabres à six bougies. Au point de vue du fonctionnement, les essais furent couronnés de succès. Jablochkoff, tout en simplifiant la manière de produire l'arc voltaïque, avait trouvé le moyen de diviser la lumière à forte intensité. Mais cette tentative eut d'autres conséquences : lorsque les délais furent expirés, Jablochkoff demanda une prolongation, elle lui fut refusée à cause du prix élevé de l'éclairage, toutefois la Compagnie parisienne du Gaz fut mise en demeure d'augmenter l'intensité lumineuse de ses brûleurs.

C'est de cette époque que date la lutte du gaz et de l'électricité ; le premier s'efforcera d'accroître l'intensité de ses becs pour conserver le monopole de l'éclairage public ; l'autre, au contraire, cherchera à obtenir des appareils plus faibles, qui lui permettent de pénétrer dans l'intérieur des habitations.

Les bougies Jablochkoff ont eu pendant longtemps une certaine vogue. L'Hippodrome, qui les avait adoptées, le premier, dès 1878, était éclairé au moyen de 133 bougies. A la même époque, les Magasins du Louvre possédaient un éclairage par bougies nécessitant une force motrice de 300 chevaux.

Certains théâtres, comme ceux de l'Opéra, du Châtelet, le Théâtre lyrique (Opéra-Comique), se servaient de ce mode d'éclairage. La Gare de Lyon, la Gare Saint-Lazare éclairaient leur mouvement considérable de voyageurs au moyen de bougies électriques. C'est la période la plus brillante de cette source lumineuse, et toute l'attention se portait alors sur les améliorations possibles de ce système. Mais l'engouement du début se calma peu à peu, la bougie présentait de nombreux défauts : les régulateurs, tombés dans l'oubli, reparurent de nouveau. On les avait modifiés de manière à pouvoir les alimenter avec une seule machine. Ces dernières avaient fait également quelques progrès, leur débit allait sans cesse en croissant pour leur permettre l'alimentation d'un nombre considérable d'appareils. Enfin, le montage et le fonctionnement étaient assez perfectionnés pour qu'on ne puisse plus reprocher à l'électricité ses extinctions fréquentes du début.

Il restait encore à vaincre une difficulté, celle de l'éclairage intérieur des habitations. Il n'était pas possible en effet de compter sur les régu-

teurs ou sur les bougies, leurs grandes dimensions ne le permettaient pas ; c'est du reste le reproche qu'on peut leur faire encore actuellement. Ce résultat ne pouvait être obtenu qu'avec la lampe à incandescence.

Le principe de la lampe à incandescence est basé sur la propriété qu'a un filament conducteur de s'échauffer sous l'action du courant électrique ; lorsque sa température est suffisamment élevée, il devient lumineux. Ce phénomène était connu depuis fort longtemps quand Draper (1845), en Amérique, imagina de l'utiliser comme moyen d'éclairage. Il se servait d'un fil de platine enroulé en spirale, qu'il intercalait sur le circuit d'une batterie de piles. La lumière obtenue avec cette substance était d'un jaune éclatant rappelant la couleur des flammes employées couramment.

L'expérience de Draper, qui n'était pas sortie du laboratoire, fut reprise par de Chanzy (1858). Il employait également du platine. Les essais durent être abandonnés, car les fils se rompaient trop souvent ; mais ils avaient montré toutefois qu'il était possible d'utiliser à l'éclairage l'incandescence par l'électricité.

Au lieu d'un fil métallique, King imagina de se servir d'un filament de charbon, et c'est sur ces données que deux Russes, Lodyguine et Kosloff construisirent une petite lampe fournissant une lumière jaune et brillante. Mais, pour empêcher l'usure du filament de charbon, il fallait l'enfermer dans un récipient vide d'air. Avec une machine à courants alternatifs de moyenne puissance, ils arrivèrent à alimenter quatre de ces lampes. Kosloff vint à Paris pour exploiter leur invention, il ne réussit pas, l'appareil était trop défectueux ; le défaut résidait dans la rupture trop fréquente du conducteur à son point de passage de l'air dans le vide. La lampe Konn, basée sur le même principe, et essayée pendant quelque temps à Saint-Petersbourg, ne donna pas un meilleur résultat.

La marche suivie n'était plus la même que celle des lampes à arc. On disposait de sources d'énergie suffisante, mais on n'arrivait pas à trouver l'appareil d'utilisation. Un moment, les recherches sur les lampes à incandescence dans le vide furent abandonnées pour adopter une solution mixte avec les appareils de Reynier et Wedermann, qui tenaient le milieu entre les lampes à arc et celles à incandescence ; la lumière était obtenue avec un filament de charbon porté au rouge, non plus dans le vide mais dans l'air ; l'usure rapide du charbon nécessitait, comme pour la lampe à arc, le renouvellement fréquent des crayons.

Edison, à son tour, étudia la question ; il essaya d'abord la lampe au platine, puis revint au filament de charbon, et, en 1881, il présenta, concurremment avec Swan, à l'Exposition d'électricité de Paris, un appareil complet. Le filament de charbon était enfermé dans une ampoule en verre vide d'air ; l'arrivée du courant était assurée au moyen de deux fils de platine, qui suivaient les mouvements de dilatation du verre et remédiaient ainsi à tous les défauts que présentaient les lampes antérieures.

La découverte d'Edison eut un grand retentissement : le problème de la division de la lumière par l'électricité était résolu. Il se produisit le même fait qui arrive toujours en pareille circonstance : l'incandescence fut appliquée pendant quelque temps d'une façon exagérée, jusqu'au moment où l'on s'aperçut que ce mode d'éclairage avait également ses inconvénients comme les autres systèmes. La construction des lampes, qui laissait à désirer, et leur prix d'achat élevé calmèrent rapidement l'enthousiasme. Depuis la découverte d'Edison, le nombre de ces appareils s'est accru d'une manière considérable, mais il faut reconnaître que ce sont plutôt des améliorations que des innovations.

En possession de ces deux sources lumineuses, l'arc, comme lumière intensive et l'incandescence, pour les éclairages moins importants, l'électricité était en état de répondre à tous les besoins ; aussi, son développement n'était plus qu'une question de temps. Pendant les cinq années qui suivirent l'apparition des lampes à incandescence, les progrès furent peu sensibles ; la lumière électrique était regardée comme un éclairage de luxe.

L'installation de l'Opéra, remaniée par les soins de la Société continentale Edison, celle du Palais-Royal, par la même Société, sont les deux faits les plus saillants. Quelques passages, entre autres celui des Panoramas, où, moins de cent ans avant, le gaz avait fait son apparition, furent également éclairés à l'incandescence.

Il fallut l'intervention d'un événement douloureux pour donner un nouvel essor à son développement. Après le terrible incendie de l'Opéra-Comique (1887), l'éclairage électrique fut réclamé par l'opinion publique. A la suite de nombreuses discussions à l'Hôtel de Ville, des concessions furent accordées à diverses Sociétés (30 mars 1888). La durée fut portée à 18 ans, de manière à prendre fin en 1903, en même temps que celle de la Compagnie parisienne du Gaz.

Le périmètre alloué à chaque concessionnaire devait s'étendre du

centre à la périphérie de Paris, d'où le nom de secteur donné à ces concessions. Cette distribution avait pour but d'égaliser les chances de succès de chaque Compagnie. Il existe actuellement (1893) six de ces secteurs, dont quatre sont en service.

Le plus ancien est le *Secteur Edison* (1889); il va de la Bourse aux fortifications, entre les rues de la Chaussée-d'Antin et du faubourg Poissonnière prolongés; il ne comporte que deux usines, l'une faubourg Montmartre, d'une force de 1.500 chevaux, et l'autre avenue Trudaine, pouvant fournir 2.400 chevaux. Elles sont montées de façon à pouvoir se suppléer au besoin. Cette Société possède encore l'usine du Palais-Royal pour l'éclairage du Palais-Royal et du Carrousel.

Le deuxième secteur est celui de la Société de *l'Éclairage et de la Force*, il a la forme d'un triangle, dont la pointe serait au boulevard Sébastopol, à l'angle de la rue Turbigo, et les deux autres sommets au boulevard Ornano et à la rue d'Allemagne. Ce réseau est alimenté par cinq usines, dont trois sont indépendantes. Ce sont les usines de la rue de Bondy, 500 chevaux; de la rue des Filles-Dieu, 200 chevaux, et de la rue d'Allemagne pour l'éclairage du canal Saint-Martin. Les deux autres, du faubourg Saint-Denis et du boulevard Barbès, reçoivent le courant d'une usine principale à Saint-Ouen, distante de 7 kilomètres, et pouvant produire 1.200 chevaux de force.

Le troisième secteur en service est celui de la *Société de l'Air comprimé*, ou ancien secteur Popp, comprenant toute la partie de Paris entre le faubourg du Temple prolongé et la Seine. Ce secteur en transformation comporte des usines très importantes, entre autres celles du Lac Saint-Fargeau, du boulevard Richard-Lenoir, de la Bourse du Commerce et du Retiro; il présente, en outre, une série de sous-stations dans les divers quartiers qu'il alimente : comme superficie, c'est le plus considérable.

Un quatrième secteur occupe le Nord-Ouest de Paris; il est désigné sous le nom du *Secteur de Clichy*; il va jusqu'aux fortifications, en partant de la rue Royale par la rue de la Chaussée-d'Antin et par le faubourg Saint-Honoré, avec une seule usine, celle de la rue des Dames, dont l'importance atteint 2.000 chevaux.

Les deux autres secteurs, celui des *Champs-Élysées*, et celui de la *Rive Gauche*, ont été concédés, mais ne sont pas encore en service. Le premier est en construction; il éclairera la partie Ouest de Paris.

A cette série de stations centrales, il faut ajouter l'*Usine municipale*

*des Halles*, d'une force de 960 chevaux, qui fournit le courant nécessaire à l'éclairage des Halles et des maisons voisines.

Paris possède encore quelques usines spéciales pour l'éclairage de ses places et de ses jardins. Elles sont, pour la plupart, antérieures aux stations centrales. Dès 1881, la place du Carrousel était éclairée à l'électricité; puis, successivement, ce fut le tour des Buttes-Chaumont (usine de 60 chevaux), du Parc Monceau (25 chevaux). Enfin, l'Hôtel de Ville fut éclairé par une usine spéciale pouvant fournir une force motrice de 400 chevaux pour les jours de réception.

Le développement des secteurs parisiens a été favorisé par le succès qu'avait obtenu la lumière électrique à l'Exposition de 1889. Les galeries, les jardins, les théâtres, les cafés avaient été éclairés avec beaucoup de goût et de soin: tous les systèmes étaient employés. Les principales sociétés de construction d'appareils électriques du monde entier y étaient représentées; aussi l'intensité lumineuse atteignit le chiffre le plus élevé qu'on n'ait jamais réalisé. La force motrice s'élevait à 4.000 chevaux-vapeur.

En dehors des stations centrales et des usines municipales, il en existe un grand nombre appartenant à des associations privées, pour lesquelles l'éclairage a une très grande importance. Il suffit de rappeler l'installation du Magasin du Louvre, qui avait adopté la lumière électrique dès le début, et dont l'exemple fut suivi par les Magasins du Printemps (1882) et du Bon Marché.

Il en est de même des gares de chemins de fer, dont les installations de la première heure furent modifiées successivement, et reconstruites sur des données nouvelles. Sauf la Gare Montparnasse, toutes les autres sont éclairées à la lumière électrique, elles sont alimentées, pour la plupart par des usines spéciales.

Les théâtres sont dans les mêmes conditions: les uns sont abonnés aux secteurs correspondants, d'autres préfèrent, comme l'Odéon, l'Opéra, s'éclairer eux-mêmes, et, rien que pour ces derniers, la puissance mécanique atteint 3.000 chevaux.

L'éclairage électrique actuel de la ville de Paris ne présente pas la même homogénéité qu'autrefois le gaz avec ses premières usines. Il est même assez difficile d'admettre une fusion possible entre les divers secteurs existants. C'est qu'il y a un grand nombre de moyens de produire et de distribuer l'énergie électrique, variété qui n'existait pas avec le gaz. Tous les secteurs diffèrent à ce point de vue; aussi pour cha-

cun d'eux l'entreprise n'est pas également rémunératrice. Pour le consommateur, cette division n'a pas grande importance, puisque le prix de l'énergie électrique est le même partout. Au début, l'abonnement se faisait par lampe, mais, lorsque l'éclairage a eu pris une extension suffisante, l'usage du compteur est devenu obligatoire.

En résumé, l'éclairage électrique dans l'enceinte de Paris a atteint, dans l'espace de cinq ans, de très grandes proportions. En 1888, on ne comptait que 3.000 lampes, et, en 1893, il y avait déjà plus de 200.000 abonnés. La cinquième partie de la lumière totale est fournie par l'électricité absorbant une force motrice de 30.000 chevaux.

La progression suivie par la lumière électrique dans les autres pays est sensiblement la même qu'à Paris. En Amérique, lors de l'Exposition de 1876, il n'existait pas une seule station. La situation était sensiblement la même en 1878, date à laquelle la France possédait déjà plus de 200 usines d'une certaine importance. Mais, aussitôt que les essais de Jablochhoff et d'Edison à Paris eurent montré les grands avantages de l'électricité, les Américains, avec la rapidité d'exécution qui les caractérise, adoptèrent ce mode d'éclairage; les rôles furent intervertis, et le chiffre des stations françaises fut de beaucoup distancé. En 1892, on comptait, pour les États-Unis seuls, plus de 1.800 stations, absorbant 450.000 chevaux. Cet accroissement important s'explique encore par le fait même qu'un grand nombre de villes nouvelles, n'ayant pas eu le temps de passer par l'intermédiaire du gaz, ont adopté l'électricité.

En Angleterre, l'accroissement n'a pas été aussi rapide. Dans la plupart des villes, par suite de la proximité des centres miniers, le gaz est vendu à un bon marché exceptionnel. Londres est éclairé par des stations centrales, mais leur développement, quoique atteignant celui des stations parisiennes, n'a pas été aussi accentué; il faut tenir compte à la fois, et de la superficie, et des besoins de luxe bien moins considérables. En 1891, on comptait huit compagnies principales, dont la plus importante, *la London Electric Supply Corporation*, possède une usine puissante à Deptford, sur la Tamise, dans la banlieue de Londres. Cette usine a attiré pendant quelque temps l'attention générale, par suite des dimensions colossales que devaient atteindre ses machines. La progression de l'éclairage électrique, à Londres, est cependant très sensible, comme l'indiquent les chiffres suivants :

En 1890, il y avait. . . . .	145.000 lampes.
En 1891, — . . . . .	330.000 —
En 1892, — . . . . .	500.000 —

Sur le continent, les progrès ont peut-être été plus prompts, toujours pour la raison que certaines villes, n'ayant jamais eu l'éclairage au gaz, ont pu, dès le début, adopter l'éclairage électrique.

A Berlin, l'installation de la lumière électrique remonte à 1885; une seule usine fournissait alors le courant nécessaire à l'éclairage du Théâtre impérial, qui ne comptait que 5.000 lampes; en 1889, la consommation atteignait 100.000 lampes; le nombre des stations centrales s'élevait à quatre. Ces chiffres indiquent suffisamment les progrès accomplis dans l'espace de quatre ans.

En Italie, le nombre des villes éclairées électriquement est très important; les installations présentent un grand intérêt, car, dans beaucoup d'entre elles, on a essayé, sur une échelle assez vaste, divers modes de distribution du courant, qui ont pleinement réussi. Rome possède une station qui déjà, en 1889, alimentait 5.000 lampes à incandescence, et 200 arcs.

A Vienne, l'éclairage public à l'électricité date de 1890; mais, en dehors des théâtres et des grands établissements, le nombre des abonnés est assez restreint.

Beaucoup de villes, en France, possèdent également l'éclairage électrique. Le Havre, Nancy, Nantes, Poitiers, Troyes, Sens, Boulogne, Compiègne, ont des usines centrales fournissant le courant aux particuliers absolument comme le gaz. La lutte est du reste très vive entre ces deux puissants adversaires.

Il est probable que le nombre des villes éclairées électriquement serait encore plus élevé, si la plupart d'entre elles n'étaient liées par des contrats avec les usines à gaz.

Quoi qu'il en soit, l'électricité a fait, en fort peu de temps, des progrès importants. Les machines actuelles ne sont plus comparables à celles du début; de dimensions beaucoup plus fortes, leur fonctionnement est meilleur; les installations, faites sur une vaste échelle, ont atteint un degré de perfection avancé. Les modes de distribution du courant sont très variés, d'autant plus que certains appareils, comme les accumulateurs, les transformateurs, ont permis encore d'augmenter le nombre des combinaisons.

Comme application à la lumière, on possède toujours l'arc et l'incan-

descence. Les régulateurs et les bougies ne présentent pas de progrès sensibles sur ceux du début; il en est à peu près de même des lampes à incandescence, dont la construction seule s'améliore. Actuellement, on n'a pas d'autre but que celui de diminuer le prix de ces appareils. A ce point de vue, on a cherché également à supprimer, ou tout au moins à réduire les conducteurs métalliques sur lesquels sont intercalés les appareils d'éclairage; quelques expériences récentes ont montré qu'on pouvait s'en passer dans certaines conditions, mais on est encore fort éloigné de la pratique. Il est du reste impossible d'énumérer toutes les innovations plus ou moins heureuses auxquelles la lumière électrique a donné lieu; il est de même très difficile de se faire une idée du développement qu'elle pourra atteindre dans l'avenir.

En résumé, cette source lumineuse a pris, dans la question de l'éclairage, une place très importante; complètement sortie de la période des essais, elle est entrée dans le domaine de la pratique, sous des auspices exceptionnellement favorables; il ne lui reste plus qu'à conquérir le rang qu'elle mérite et à continuer son développement déjà si avancé.

---

## II. — Unités électriques.

---

Sans faire aucune hypothèse sur la nature de l'électricité, on peut pour comprendre facilement son application à la lumière, la comparer aux autres fluides.

L'analogie consiste dans l'assimilation du courant électrique à une veine liquide circulant dans une conduite.

Un courant électrique n'est par le fait qu'un effet *dynamique* ou de mouvement qui a pour but de rétablir l'équilibre électrique détruit entre deux points.

Si la cause de cette rupture d'équilibre est momentanée, le courant sera de courte durée, c'est une simple *décharge*, si au contraire elle persiste on a le *courant* proprement dit.

Le courant ne se manifeste entre deux points que lorsqu'ils sont réunis par un conducteur. On ne saurait mieux le comparer qu'au liquide circulant dans une conduite réunissant deux réservoirs à des niveaux différents, la conduite constitue le conducteur et le fait même du déplacement du liquide d'un réservoir dans l'autre est identique au courant.

**Potentiel. — Volt.** — La force qui tend à rétablir l'équilibre entre deux points du conducteur se nomme *force électromotrice*, c'est en quelque sorte la cause du mouvement. Elle est analogue, dans l'exemple précédent, à la force qui produit l'écoulement du liquide d'un réservoir dans l'autre. En hydraulique, cette force est caractérisée par la différence de pression plus ou moins grande existant entre les deux niveaux, en électricité, à la pression correspond le *potentiel*. La différence de potentiel se mesure en *volts* qui est l'unité adoptée.

**Intensité. — Ampère.** — *L'intensité électrique* représente la grandeur de l'effet produit par la force électromotrice, elle est fonction de la quantité d'électricité qui circule dans le conducteur. C'est du reste par définition la quantité d'électricité qui passe à travers le conducteur dans l'unité de temps. Elle correspond en hydraulique au débit d'une conduite mesuré en litres par seconde.

L'unité d'intensité est l'*ampère*, elle a été désignée pendant quelque temps sous le nom de *weber*.

L'intensité multipliée par le temps mesure la *quantité d'électricité* dont l'unité est le *coulomb* ou quantité d'électricité débitée en une seconde par un courant d'un ampère. Cependant le coulomb ou *ampère-seconde* est rarement employé en pratique, car l'unité de temps adoptée de préférence est l'heure et non pas la seconde. On lui substitue l'*ampère-heure*, c'est la quantité d'électricité débitée en une heure ou 3.600 secondes par un courant dont l'intensité est d'un ampère : l'ampère-heure vaut donc 3.600 coulombs.

**Résistance. — Ohm.** — Le conducteur assimilé, au tuyau qui réunit les deux réservoirs, conduit plus ou moins bien l'électricité suivant sa nature et ses dimensions. Il présente toujours une certaine *résistance*. Cette résistance varie beaucoup avec la nature du corps. Quelques-uns, comme la terre, les métaux, laissent passer le courant avec une extrême facilité, d'autres au contraire, comme le verre, le caoutchouc, certaines résines sont mauvais conducteurs. L'unité de résistance est l'*ohm*, du nom du physicien allemand qui a formulé la loi sur les courants en 1827.

L'ohm est représenté matériellement par la résistance d'une colonne de mercure purifié de 1 millimètre carré de section et de 1<sup>m</sup>,0346 de longueur à 0 degré. Dans un conducteur la résistance dépend de ses dimensions ; elle est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section.

Les trois quantités précédentes : force électromotrice, intensité, résistance sont liées par la relation suivante ou loi de Ohm.

« L'intensité d'un courant est proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance du circuit. »

Cette loi d'une très grande simplicité est la base de toutes les applications électriques. Il existe bien des formules analogues pour l'écoulement des autres fluides, mais tout en étant plus compliquées elles sont d'un emploi plus difficile et moins rigoureux.

**Puissance. — Watt.** — Lorsqu'un courant parcourt un circuit, il ne tarde pas à l'échauffer et cet échauffement peut devenir suffisant pour que le conducteur émette de la lumière. Cette transformation de l'électricité en chaleur ne se fait pas au hasard, elle suit une loi qui est la loi de Joule.

« La quantité de chaleur dégagée par un courant est proportionnelle à la force électromotrice et à la quantité d'électricité qui passe au travers du circuit dans un temps donné. »

Or, en physique, on évalue très exactement le travail mécanique qu'il faut dépenser pour produire une quantité de chaleur déterminée. Il résulte de la loi de Joule que l'énergie électrique et le travail mécanique sont équivalents, on peut les évaluer exactement et passer facilement de l'un à l'autre.

Le produit de la force électromotrice par l'intensité mesure la puissance électrique ; l'unité est le *watt*. Or, si l'on compare la circulation du courant à l'écoulement du liquide examiné précédemment, on retrouve l'analogie des divers fluides : en effet la puissance d'une chute d'eau est égale au produit de la hauteur par le débit dans l'unité de temps. Quoique parti d'un point différent on arrive au même résultat, ce qui montre comment toutes ces transformations s'enchaînent et la facilité avec laquelle on peut les traduire par le calcul.

L'unité de puissance en mécanique est le *cheval-vapeur* qui exprime le travail produit dans l'unité de temps ; il vaut 736 watts. Le coefficient de 736 provient de ce que les unités fondamentales adoptées en électricité ne sont pas les mêmes qu'en mécanique. Cette différence dans le choix des unités vient de ce que les mesures mécaniques ont été employées avant les mesures électriques.

Si on multiplie la puissance par le temps on obtient l'énergie ou travail produit dans ce temps. L'unité de temps étant l'heure, l'énergie électrique est exprimée en *watt-heures*, mais on emploie de préférence deux multiples, l'hecto et le kilowatt-heure qui sont cent et mille fois plus grands. Un cheval-heure, qui est le travail produit en une heure par un cheval-vapeur, vaut donc 736 watt-heures.

Le prix de revient et le prix de vente de l'énergie électrique sont basés sur le nombre de watt-heures produits ou consommés.

Les unités précédentes ne sont pas les seules employées en électricité, mais elles suffisent pour les besoins courants.

**Production de l'énergie électrique.** — Le courant ayant pour but de rétablir l'équilibre électrique détruit entre deux points. pour qu'il soit permanent, il faut que cette rupture d'équilibre soit constante. Ce résultat ne peut être obtenu que par l'emploi d'une source

d'énergie qui à chaque instant tendra à faire naître cette différence de potentiel.

Il y a trois sources d'énergie employées à la production de l'électricité : l'action chimique, la chaleur et le travail mécanique.

Les générateurs électriques fondés sur l'action chimique ou *piles hydro-électriques* ne sont plus guère employés à la production de la lumière que dans les installations de minime importance. Leur puissance trop faible empêche d'en faire un appareil industriel, de plus le prix de revient de cette source d'énergie est très élevé.

Les *piles thermo-électriques*, qui transforment directement la chaleur en électricité, semblent devoir donner au premier abord un meilleur résultat. Il est en effet très logique de vouloir supprimer la vapeur qui est l'intermédiaire entre la chaleur et l'électricité. Pratiquement il n'en est rien; ces appareils comme les précédents fournissent une puissance trop faible. Leur emploi est également limité à quelques applications spéciales.

La transformation du travail mécanique en électricité au moyen de *machines électriques* est la seule employée aujourd'hui; ce n'est pas qu'elle donne un très bon rendement, dans le cas de la machine à vapeur, à peine utilise-t-on 10 % de la chaleur fournie par le charbon; mais elle permet d'employer la puissance presque illimitée de la machine à vapeur ou de la chute d'eau. Il en résulte que la question du rendement n'entre qu'en seconde ligne, de plus, comme on ne dispose que de cette seule source d'énergie puissante, il n'est guère opportun de discuter sa valeur. Cette production du courant électrique a atteint de très grandes proportions, au début on disposait seulement de quelques machines de faible importance, aujourd'hui la comparaison n'est plus à faire entre les machines actuelles et celles d'il y a quinze ans.

Il arrive souvent que l'énergie électrique n'est pas employée directement, il faut l'emmagasiner, ou lui faire subir des modifications.

Le premier résultat est obtenu au moyen d'*accumulateurs* ou réservoirs d'électricité. Ils sont destinés à en emmagasiner des quantités considérables qu'ils peuvent rendre au moment voulu, soit lentement, soit rapidement.

Quant à la modification elle est réalisée avec les *transformateurs*. Ils reçoivent le courant dans certaines conditions et le restituent sous une forme bien différente. Mais accumulateurs ou transformateurs ne rendent jamais intégralement toute l'énergie qui leur a été fournie, ils en absorbent toujours une certaine quantité.

### III. — Piles.

---

#### 1° PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES

**Pile Volta.** — L'invention de la pile est due au physicien italien Volta (1801). Elle était formée par deux plaques de zinc et de cuivre, entre lesquelles il intercalait un morceau de drap imbibé d'eau acidulée. Les éléments, ainsi constitués, étaient placés les uns au-dessus des autres, d'où le nom de pile donné à l'appareil.

En réunissant la lame de cuivre à celle de zinc, par un conducteur métallique, Volta obtenait un courant. Pendant longtemps, il y eut discussion entre lui et d'autres physiciens pour en déterminer la cause. La théorie actuelle attribue la formation de ce courant à l'action chimique de l'eau acidulée sur le zinc. L'énergie chimique développée se transforme: c'est une conséquence du principe de la conservation de l'énergie. Si on supprime du reste l'action chimique, le courant disparaît aussitôt.

On donne le nom de *pôles* aux extrémités libres de la plaque de cuivre et de zinc. Comme on admet que le courant est assimilable à l'écoulement d'un fluide, on suppose qu'il va du cuivre au zinc, ou du pôle + au pôle —, en convenant d'affecter d'un signe chacun des pôles. Le phénomène de l'action chimique est désigné sous le nom d'*électrolyse*, et les deux corps, soumis à son action, sous celui d'*électrodes*.

L'invention de Volta est une des plus importantes du siècle; elle est remarquable par les nombreuses découvertes auxquelles elle a donné lieu, parmi lesquelles celle de l'arc voltaïque due à Davy.

La pile de Volta, et un grand nombre d'autres qui ont suivi, présentaient un grand inconvénient: au bout d'un certain temps, le courant s'affaiblissait et devenait presque nul. Cet affaiblissement est dû au phénomène de la *polarisation*. Les gaz, provenant de la décomposition chimique, se déposent sur les électrodes, et ont pour effet de diminuer le courant principal: d'abord, parce qu'ils sont mauvais conducteurs de l'électricité, et ensuite parce qu'ils tendent à se combiner, en donnant naissance à un courant inverse du premier.

**Pile Daniell.** — Pour remédier à cet inconvénient, on a imaginé des piles spéciales à dépolarisant, dans lesquelles un corps particulier détruit les gaz, et par suite supprime leur action parasite. Parmi ces piles, il convient de citer celles à deux liquides, employées plus spécialement à la production de la lumière. Le premier de ces appareils est l'élément *Daniell*, construit en 1836.

Cet élément comporte un premier vase extérieur en verre, contenant une dissolution de sulfate de cuivre et un cylindre en cuivre rouge. A l'intérieur de ce premier vase, s'en trouve un second poreux en terre réfractaire, renfermant à son tour une lame de zinc plongée dans de l'eau acidulée. Si l'on vient à réunir les deux électrodes, il y a attaque du zinc par l'eau acidulée, et formation d'un courant. Le gaz, provenant de cette décomposition, est constitué par de l'hydrogène; il franchit le vase poreux, mais, au lieu de se déposer sur la lame de cuivre, comme dans les éléments primitifs, il décompose le sulfate de cuivre en donnant du cuivre pur, qui se dépose, et de l'acide sulfurique (fig. 80).

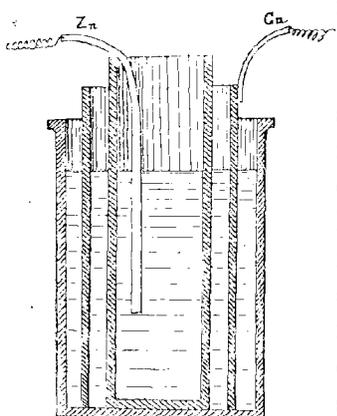


Fig. 80. — Pile Daniell.

Le courant obtenu est sensiblement constant pendant plusieurs jours et même plusieurs mois, à la condition d'avoir soin d'ajouter de temps à autre des cristaux de sulfate de cuivre à la solution appauvrie de manière à absorber constamment l'hydrogène.

On peut renverser l'ordre des liquides, et placer l'eau acidulée et le zinc dans le vase en verre; le vase poreux contiendra alors le sulfate de cuivre.

**Pile Bunsen.** — Le sulfate de cuivre coûtant assez cher, et son remplacement ayant lieu fréquemment, à la pile précédente on a substitué celle de *Grove* (1839), modifiée par *Bunsen* (1843).

Deux vases, emboîtés l'un dans l'autre, contiennent, l'un de l'acide sulfurique, l'autre de l'acide azotique. Une lame de zinc est soumise à l'action de l'acide sulfurique, et engendre l'énergie nécessaire à la production du courant. A l'acide azotique correspond une lame en platine (pile de *Grove*) ou une plaque de charbon de cornue (pile *Bunsen*). Cette plaque n'est pas attaquée, et l'acide azotique agit comme dépolarisant.

Comme précédemment, l'attaque du zinc par l'acide donne naissance à un gaz, l'hydrogène, qui traverse le vase poreux pour venir se déposer sur l'électrode positive en platine ou en charbon. Mais l'acide azotique est décomposé par cet hydrogène en donnant naissance à des vapeurs nitreuses et à de l'eau. Il en résulte que le courant obtenu reste encore constant tant qu'il y a de l'acide azotique en quantité suffisante (fig. 81).

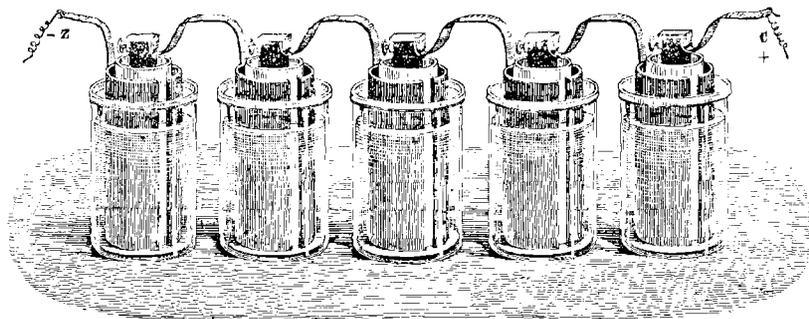


Fig. 81. — Pile *Bunsen*.

L'inconvénient de cette pile est de dégager des vapeurs nitreuses suffocantes. Il faut en outre avoir soin d'employer du zinc galvanisé, c'est-à-dire plongé au préalable dans du mercure pour empêcher l'attaque à circuit ouvert. On place en général la lame de zinc dans le vase extérieur, et le charbon de cornue dans le vase intérieur.

La pile Bunsen a servi et sert encore à la production de la lumière, mais son prix, très élevé, lui fait préférer les autres sources d'énergie électrique. Elle ne demande pas beaucoup d'entretien : remplacer l'acide azotique épuisé, et renouveler le zinc ; mais, lorsque cette opération se répète sur un nombre important d'éléments, elle finit par prendre un temps considérable. Enfin, l'énergie fournie est beaucoup trop faible.

**Montage des piles.** — La pile électrique, comme tout générateur d'électricité, présente trois quantités importantes : la force électromotrice, l'intensité et la résistance. Cette dernière a une valeur assez faible, et d'autant moins élevée que les dimensions de l'élément sont plus considérables. La force électromotrice n'atteint jamais une valeur

bien grande; elle s'élève rarement à 2 volts, comme l'indiquent les chiffres suivants :

Pile Volta . . . . .	0 <sup>r</sup> ,4	à 0 <sup>r</sup> ,8 à circuit ouvert
Pile Daniell. . . . .	1 <sup>r</sup> ,07	
Pile Bunsen . . . . .	1 <sup>r</sup> ,72	

La mesure à circuit ouvert signifie que la force électromotrice n'est pas constante : la pile se polarise facilement. Quant à l'intensité, elle dépend seulement de la surface d'attaque du zinc; on peut lui faire atteindre les valeurs qu'on veut lui donner.

Ces quelques considérations permettent de fixer les conditions que doit remplir une pile. Un bon appareil doit avoir une force électromotrice constante et une résistance très faible; il ne doit pas travailler à circuit ouvert, être peu coûteux et d'un entretien facile. Quelques-unes d'entre elles sont contradictoires, et difficiles à réaliser dans un même élément.

La lumière à arc demande au moins de 45 à 50 volts de force électromotrice. On s'explique ainsi la nécessité d'employer, pour la produire,

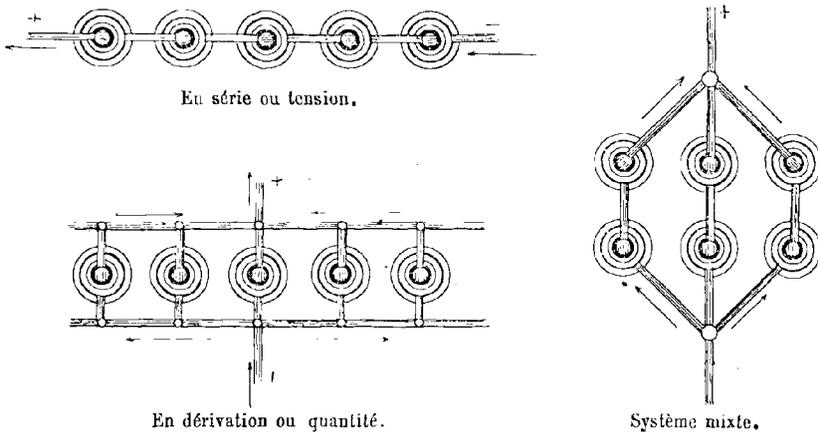


Fig. 82. — Montage des piles.

un nombre considérable d'éléments, et par le fait il en faut un chiffre égal au quotient de 45, par la force électromotrice de l'élément. On les dispose alors les uns à la suite des autres, en réunissant entre eux les pôles de nom contraire; on dit qu'ils sont montés en *série* ou *tension*. Les forces électromotrices s'ajoutent, mais l'intensité est toujours égale à celle d'un élément. Cette disposition correspond à celle de

plusieurs réservoirs d'eau superposés, où le liquide tomberait d'un réservoir dans l'autre. Le débit serait toujours le même, mais la hauteur de chute totale serait égale à la différence de niveau qui existe entre le premier et le dernier réservoir.

Si, au contraire, on réunit entre eux les pôles de même nom des divers éléments, on dit qu'ils sont montés en *quantité* ou en *dérivation*. Ce montage équivaut à avoir un seul élément dont la surface de la lame de zinc serait égale à la somme de la surface des zincs de toute la batterie. Il correspond par analogie au groupement de plusieurs réservoirs disposés au même niveau et alimentant la même conduite.

On peut adopter un *système mixte*, c'est-à-dire avoir plusieurs éléments montés en série, et ces séries à leur tour réunies en quantité.

Mais, quelle que soit la disposition employée, l'énergie totale fournie est la même; elle est égale à la somme des énergies produites par chaque élément pris isolément.

Cette énergie est égale au produit de la force électromotrice par l'intensité. Lorsque, pour une pile donnée, on augmente la résistance du circuit extérieur, l'intensité de l'élément diminue et son travail utile peut devenir nul. Au contraire, si on relie directement les deux pôles de la pile, la seule résistance à vaincre est la résistance intérieure de l'élément; le travail utile est encore nul. Entre ces deux limites extrêmes, il y a une valeur pour laquelle le travail utile est maximum. Le calcul montre que ce résultat est obtenu lorsque la résistance intérieure est égale à la résistance extérieure; mais il vaut mieux augmenter cette dernière, car dans ces conditions la pile fatigue trop.

**Piles à écoulement.** — Le nombre des éléments indispensables à la production de l'arc nécessite une main-d'œuvre considérable : le renouvellement des liquides ou le changement des plaques est toujours très long. On a cherché de tout temps à diminuer cet entretien en employant des piles dites automatiques. Elles ont pour but de permettre, par une manœuvre simple et rapide, la vidange ou le remplissage de tous les éléments en même temps.

On emploie quelquefois le dispositif suivant. Un tube en ébonite porte autant d'ajutages qu'il y a d'éléments; des tuyaux en caoutchouc souple sont emmanchés sur chacun de ces ajutages et pénètrent jusqu'au fond de chaque vase. Pour remplir la batterie, il suffira de faire communi-

quer le tube principal avec un réservoir contenant le liquide à fournir. Au contraire, pour la vider, on fixera sur ce même tuyau une poire à air et un robinet; en pressant sur la poire, le robinet étant ouvert puis fermé, on fera un vide suffisant pour amorcer ce syphon à branches multiples. On peut, en une seule opération, vider ou remplir un nombre considérable d'éléments (fig. 83).

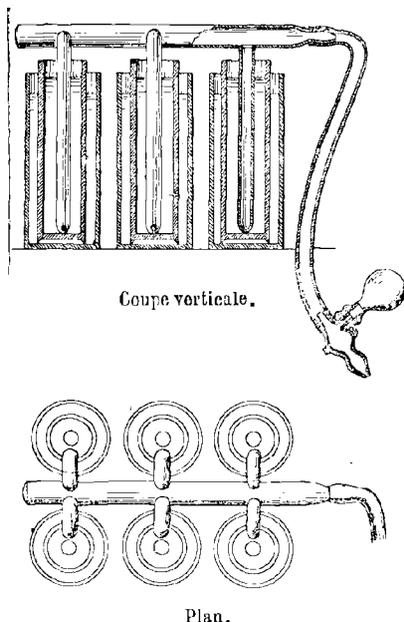


Fig. 83. — Batterie de piles à nettoyage rapide.

Le nombre des dispositifs imaginés est assez élevé, mais jusqu'à présent aucun d'eux n'a donné de résultats satisfaisants.

En résumé, quel que soit le système employé, les piles hydro-électriques sont des appareils de faible puissance, produisant l'énergie à un prix trop élevé, pour qu'on puisse songer à les utiliser d'une façon générale à la production de la lumière. En effet, une lampe à incandescence, alimentée dans ces conditions, coûte par an de 200 à 300 francs, lorsqu'avec les autres systèmes, elle revient à 50 francs au maximum.

Aussi la pile hydro-électrique n'est-elle employée que dans des cas tout à fait spéciaux, pour des éclairages de courte durée, comme celui d'un atelier de photographie, d'une habitation isolée, ou pour des expériences de laboratoire. Mais, même dans ces applications restreintes, il est plus avantageux de recourir à d'autres procédés.

Ce procédé, quoique très simple, n'est pas automatique; il nécessite toujours l'intervention de l'opérateur.

Avec les piles dites à écoulement, le remplacement du liquide se fait à des intervalles égaux. Tous les éléments communiquent avec une canalisation générale dans laquelle un dispositif spécial envoie automatiquement la quantité de liquide nécessaire à chaque élément. Il suffit simplement, de temps à autre, de renouveler dans un réservoir unique le liquide employé. Mais, comme tous les automates, ces batteries ne fonctionnent pas toujours bien, et la réparation en est alors plus difficile et plus coûteuse qu'avec les autres procédés.

## 2° PILES THERMO-ÉLECTRIQUES

Elles ont pour but la transformation directe de la chaleur en électricité. La découverte de ce phénomène est due à Seebeck, en 1821 ; ce physicien remarqua qu'en portant à des températures différentes les soudures d'un circuit formé par deux métaux, il obtenait un courant. Les deux métaux employés étaient de l'antimoine et du bismuth, dont une des soudures était chauffée au moyen d'une lampe à alcool. La force électromotrice, quoique faible, était cependant très appréciable.

Marcus fit progresser la question en remplaçant l'un des métaux par un alliage qui donnait un courant de force électromotrice plus élevée. En général, toutes les piles thermo-électriques actuelles ont conservé cette amélioration ; un couple est constitué par deux lames, dont l'une est un métal, l'autre est formée par un alliage.

La puissance d'une de ces piles dépend de la nature des corps en contact, de la différence des températures des soudures, et de la température moyenne de ces soudures. La force thermo-électrique d'un couple est en effet proportionnelle à la différence de température des soudures, et le coefficient par lequel il faut multiplier cette différence pour obtenir la force thermo-électrique, s'appelle le *pouvoir thermo-électrique*. Avec les trois quantités variables précédentes, le champ des combinaisons était assez vaste. On a en effet essayé tous les métaux et tous les alliages combinés deux à deux. Ce sont le bismuth et l'antimoine qui donnent la plus grande force électromotrice ; mais la différence entre les températures des soudures est peu élevée, car ces métaux sont très fusibles. On a donc été amené à remplacer, comme l'avait fait Marcus, un des métaux par un alliage. On peut alors porter l'une des soudures à une température élevée, le plus souvent le rouge sombre, et laisser l'autre à la température ambiante.

L'étude des piles thermo-électriques a été faite d'une manière à la fois simple et complète, grâce à la simplicité des lois qui lient les diverses quantités entre elles, et à la faculté de les représenter par des graphiques.

Il est en effet facile, connaissant le pouvoir thermo-électrique de deux métaux ou alliages par rapport à un troisième, de déterminer la valeur du pouvoir thermo-électrique du couple formé par ces deux métaux. C'est le plomb qui a été choisi comme métal de comparaison.

Le nombre de ces piles est assez considérable, mais la plupart

constituent des appareils de laboratoire. Parmi les dispositions imaginées pour en faire un appareil industriel, il convient de citer la pile Noé et la pile Clamond.

**Pile Noé.** — Dans la pile Noé (1874), le métal employé est du maillechort, et l'alliage est formé d'antimoine et de bismuth. Les fils de maillechort sont réunis à l'alliage directement. L'alliage est coulé dans une capsule cylindrique dans laquelle on a introduit, au préalable, les fils de maillechort. La soudure qui doit être chauffée, est munie d'un prolongement en cuivre, qui est soumis directement à l'action d'un brûleur Bunsen. La force électromotrice de la pile Noé est de 0,06 par élément.

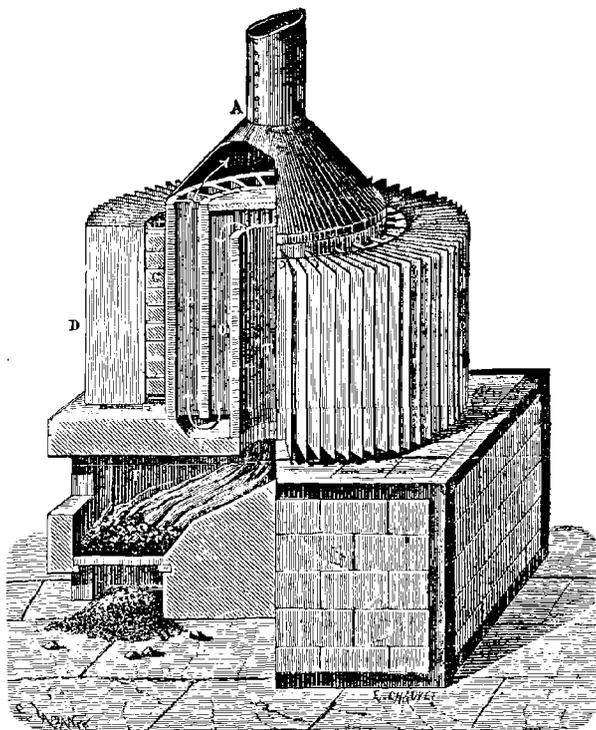
**Pile Clamond.** — L'élément de la pile Clamond est formé par une lame de fer-blanc et un alliage de zinc et d'antimoine. De petits cubes, construits avec cet alliage, sont disposés en cercle sur un plan horizontal présentant ainsi deux rangées parallèles de faces verticales. Ils sont réunis deux à deux par les lames de fer-blanc en forme de Z; l'une des branches du Z est soudée à la face verticale interne d'un cube, l'autre à la face externe du cube voisin.

Dans l'intervalle des deux cubes, la lame de fer-blanc est isolée au moyen de papier d'amiante. Tous les cubes sont ainsi réunis entre eux, et montés en tension, de manière à présenter deux soudures, l'une externe, l'autre interne. Si l'on chauffe les soudures internes, on produira une différence de température qui donnera lieu à une force électromotrice; il suffira de prendre deux cubes, non reliés électriquement par une lame de fer-blanc, et d'intercaler un fil conducteur extérieur pour recueillir le courant (fig. 84).

La force électromotrice dépend surtout de la différence de température. Il faut donc surchauffer les soudures intérieures et refroidir les soudures extérieures. Aussi Clamond a disposé le foyer intérieur de manière à utiliser toute la chaleur sans brûler les soudures, en faisant faire aux flammes plusieurs révolutions avant d'arriver à la cheminée. Quant aux soudures extérieures, le refroidissement est accéléré par des ailettes qui augmentent la surface en contact avec l'air.

Selon la dimension et le nombre des éléments on peut obtenir des piles de puissance différente. Avec 120 éléments en série disposés en couronnes superposées, la force électromotrice est de 8 volts avec une

résistance de 3,2 ohms. Cette pile est chauffée au gaz, elle consomme 180 litres à l'heure en produisant une puissance utile de 13 watts. Or



F.g. 84. — Pile *Clamond* au coke,

T. P. O, Carreaux en fonte destinés à recevoir la chaleur du four F; — A, Cheminée d'appel — C, Couples thermo-électriques; — D, Ailettes refroidissant les soudures extérieures.

comme une lampe à incandescence correspondant à un bec de gaz de 180 litres exige au maximum 40 watts, on voit que la transformation n'est guère avantageuse.

Les piles thermo-électriques ne sont pas des appareils économiques, leur rendement est excessivement faible, il n'atteint pas 0,10 pour cent, la résistance intérieure est très élevée, une partie de la chaleur est perdue par conductibilité et ne se transforme pas en électricité; de plus l'énergie produite est trop faible pour être utilisée à l'éclairage électrique courant. Toutefois elles présentent une qualité importante, celle de fournir toujours une intensité très régulière; aussi les emploie-t-on dans la galvanoplastie, et dans toutes les opérations où l'on a intérêt à avoir un courant très régulier.

## IV. — Machines électriques.

---

### 1<sup>o</sup> PHÉNOMÈNES D'INDUCTION.

**Aimant, Champ magnétique.** — Tous les générateurs mécaniques d'électricité sont fondés sur les lois de l'induction, découvertes par Faraday en 1830. Or les phénomènes d'induction se produisant seulement dans les champs magnétiques, il est nécessaire de donner quelques définitions à ce sujet.

On nomme *aimant* toute substance qui a la propriété d'attirer la limaille de fer. L'ensemble des points de l'espace où se fait sentir cette action constitue un *champ magnétique*. Cette puissance d'attraction n'est pas la même partout, elle atteint son maximum en certains points que l'on désigne sous le nom de *pôles*.

Lorsqu'il s'agit d'un barreau d'acier aimanté, les pôles sont situés aux extrémités ; ce barreau suspendu librement dans l'air s'oriente de lui-même du nord au sud ; on donne le nom de *pôle nord* ou  $+$  à l'extrémité tournée vers le nord et de *pôle sud* ou  $-$  à la pointe opposée.

Les substances *magnétiques*, c'est-à-dire capables de jouir des propriétés d'un aimant, placées dans un champ magnétique y acquièrent ces propriétés par *induction*.

La limaille de fer est la substance magnétique par excellence. Projetés autour d'un barreau aimanté, les petits grains s'attirent et se placent les uns à la suite des autres en formant des lignes continues allant d'un pôle du barreau à l'autre. Ces lignes sont désignées sous le nom de *lignes de force* et la figure qu'elles dessinent dans un plan constitue un *fantôme magnétique* (fig. 85).

Tout comme un aimant, un courant est susceptible d'attirer la limaille de fer et par conséquent de produire un champ magnétique, mais le fantôme que l'on obtient est absolument différent (fig. 86). Cette propriété commune de produire un champ magnétique montre l'analogie qui existe entre le magnétisme et l'électricité dynamique.

On peut avec un courant réaliser un champ identique à celui d'un barreau aimanté, il suffit d'enrouler le circuit plusieurs fois sur lui-même en spirales très rapprochées, on obtient alors un *solénoïde* qui

abandonné à lui-même s'oriente comme un aimant du nord au sud et présente un pôle à chaque extrémité. Ampère est le premier qui ait démontré expérimentalement l'identité des actions d'un solénoïde et d'un aimant.

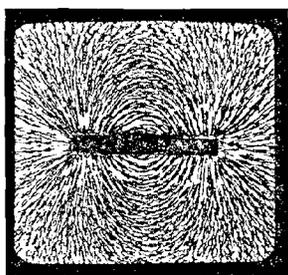


Fig. 85.— Lignes de force d'un aimant.

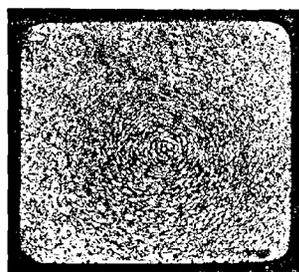


Fig. 86.— Lignes de force d'un courant.

**Électro-aimant.** — Si dans l'axe d'un solénoïde on place une substance magnétique comme un barreau de fer doux, elle s'aimante par induction, et l'on obtient un *électro-aimant*, dont les effets sont supérieurs à ceux d'un aimant naturel. Dans la pratique, on le construit en enroulant un fil de cuivre isolé, soit sur le barreau de fer, soit sur un tambour en tôle mince dont le barreau occupe l'intérieur.

Le barreau de fer doux reste aimanté aussi longtemps que dure l'action du courant, mais si l'on vient à interrompre ce dernier cette propriété disparaît. Il n'en est plus de même si l'on remplace le fer doux par un barreau d'acier, la propriété magnétique dure longtemps après la cessation du courant. On appelle magnétisme rémanent celui qui persiste après l'action du courant.

Les électro-aimants sont employés chaque fois qu'il s'agit d'obtenir un champ magnétique puissant. La valeur de ce champ dépend de l'intensité du courant qui parcourt les spires de la bobine et du nombre de ces spires.

Ils servent également à la production de mouvements basés sur la propriété qu'a un barreau de fer doux de se déplacer dans un champ magnétique. Cette propriété appartient également aux solénoïdes; un barreau de fer doux placé suivant l'axe et capable de se mouvoir tend à prendre dans ce champ une position symétrique par rapport au solénoïde.

Les électros affectent les formes les plus diverses, les pôles ou points de concentration des lignes de force se trouvent aux extrémités du barreau. Lorsque par suite du sens de l'enroulement du fil de la bobine,

on arrive à produire un pôle dans le milieu du barreau, on dit que l'électro est à *pôles conséquents*.

**Lignes de force.** — Pour expliquer les divers phénomènes électriques, Faraday a admis que dans tout champ magnétique, l'action se transmettait suivant des lignes fictives désignées sous le nom de lignes de force et identiques aux fils de grains de limaille dans l'expérience des fantômes magnétiques. On convient de donner un sens à ces lignes. Dans le cas d'un barreau aimanté, il va du pôle nord au pôle sud; le rapprochement plus ou moins grand de ces lignes de force caractérise une des propriétés importantes du champ celle de l'*intensité*. Plus il y a de lignes de force dans une section déterminée, plus l'intensité du champ y est considérable. Si le nombre est le même dans toutes les sections parallèles, on dit que le champ est *uniforme*.

Les lignes de force sont des courbes fermées; elles sont soumises à deux lois énoncées par Faraday :

1° Une ligne de force tend toujours à se raccourcir ;

2° Deux lignes de force de même sens se repoussent ; deux lignes de sens contraire s'attirent.

Toutes les fois que l'on place un corps dans un champ magnétique, la distribution des lignes de force y est modifiée. Si la substance est bonne conductrice comme c'est le cas de certains métaux, les lignes de force s'y concentrent au détriment du reste du champ. Si l'inverse a lieu, c'est qu'on a affaire à une substance isolante. On prend comme terme de comparaison le champ magnétique dans le vide, et suivant que le corps placé dans le champ concentre ou disperse les lignes de force, on dit qu'il est *magnétique* ou *diamagnétique*.

**Induction.** — L'hypothèse des lignes de force de Faraday a servi à expliquer les phénomènes d'induction, c'est-à-dire la production de courants électriques dans un circuit placé simplement dans un champ magnétique.

Le principe de l'induction peut se résumer ainsi :

Toutes les fois que, pour une raison quelconque, le nombre des lignes de force coupées par un conducteur vient à changer, il se développe entre les extrémités de ce conducteur une différence de potentiel dont la valeur dépend des dimensions du conducteur, de l'intensité du champ, et de la vitesse de variation du nombre de lignes coupées.

Si on réunit les extrémités de ce conducteur, le circuit est alors parcouru par un courant induit d'une durée égale à celle de la variation du nombre des lignes coupées.

L'induction peut être produite, soit par le déplacement relatif du circuit dans le champ, c'est le cas des machines électriques, soit par le changement d'intensité du champ, c'est le cas des transformateurs.

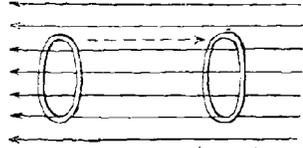
On donne le nom d'*inducteur* au système produisant le champ, et d'*induit* au circuit dans lequel naissent les courants induits.

La condition indispensable pour qu'il y ait induction est d'avoir une variation dans le nombre des lignes coupées (fig. 87). On peut avoir plusieurs modes d'induction.

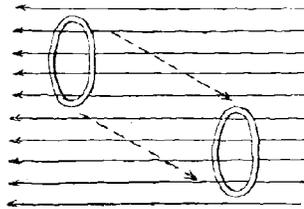
Lorsque l'induit n'est soumis à aucune action électrique primitive, on a l'induction proprement dite; mais, s'il est déjà parcouru par un courant, on a l'induction *mutuelle*; c'est ainsi que deux circuits voisins dont la position relative vient à changer s'induisent mutuellement. Enfin il y a le cas d'un seul courant agissant sur lui-même: c'est la *self-induction*; elle se produit plus particulièrement au moment de la fermeture ou de l'ouverture du circuit.

Quel que soit le genre d'induction, il faut toujours dépenser une certaine quantité d'énergie mécanique ou électrique que l'on retrouve sous forme de courant. Cette transformation n'est du reste qu'une conséquence du principe de la conservation de l'énergie.

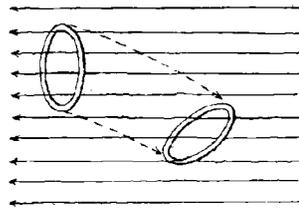
Dans le cas de générateurs mécaniques d'électricité, les courants induits résultent du déplacement relatif d'un circuit dans un champ magnétique: c'est la transformation de l'énergie mécanique en électricité. Toute machine électrique doit donc comporter: un *champ inducteur*



Le circuit ne coupant pas de lignes de force, il n'y a pas induction.



Le circuit coupant le même nombre de lignes de force, il n'y a pas induction.



Le circuit coupant un nombre variable de lignes de force, il y a induction.

Fig. 87.— Déplacement d'un circuit dans un champ.

produit par un électro-aimant ou un aimant, et *un circuit induit*, ou *armature* complété par un conducteur extérieur dans lequel on utilise le courant. Actuellement, le déplacement est obtenu par un mouvement de rotation relatif de l'induit dans le champ inducteur; le mouvement est donc périodique, c'est-à-dire que les mêmes phénomènes se reproduisent à chaque tour. Les machines diffèrent entre elles par la nature des courants induits, la forme de l'induit et la construction des inducteurs. Mais il est très facile, connaissant la suite des phénomènes qui se passent dans une machine élémentaire, comportant un seul circuit, d'en déduire le fonctionnement des autres.

**Machine élémentaire** (fig. 88). — Dans une machine élémentaire, le champ est produit par deux pôles de nom contraire placés vis-

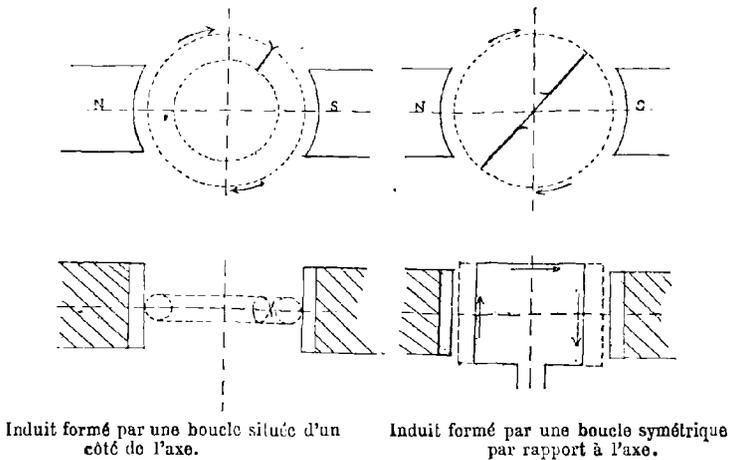


Fig. 88. — Machine élémentaire.

à-vis l'un de l'autre. On suppose que le nombre des lignes de force est partout le même, c'est-à-dire que le champ est uniforme. L'induit est formé par une boucle non fermée, située d'un côté de l'axe de rotation. Les lignes de force étant disposées horizontalement, on place la boucle dans le plan perpendiculaire; elle est alors traversée par un nombre maximum de lignes de force pénétrant par l'une de ses faces. Si on déplace la spire, le nombre de lignes de force qu'elle coupe va sans cesse en diminuant, jusqu'à la position horizontale, où alors, étant parallèle aux lignes horizontales, elle ne les rencontre plus. En continuant

le mouvement, la boucle coupe de nouvelles lignes qui pénètrent, par la face opposée, jusqu'à ce qu'elle arrive à  $180^\circ$  dans une position symétrique de la première, où elle est traversée à nouveau par un nombre de lignes maximum. Pendant cette demi-rotation, il y a eu variation dans le nombre de lignes coupées, et par suite développement d'une force électromotrice. Sa valeur étant proportionnelle à la variation, c'est dans le voisinage du plan horizontal qu'elle a atteint son maximum.

Elle part d'une valeur nulle à  $0^\circ$ , puis augmente progressivement jusqu'à  $90^\circ$ , pour diminuer ensuite jusqu'à  $180^\circ$ , où elle passe de nouveau par zéro. Ces valeurs sont l'inverse de celles du nombre de lignes de force rencontrées. Les mêmes phénomènes se reproduisent de  $180^\circ$  à  $0^\circ$ ; mais les lignes qui traversent la spire, pénétrant en sens inverse, le sens de la force électromotrice est changé. Si on réunit les extrémités de la boucle par un conducteur extérieur, dans une rotation complète, il sera parcouru par deux courants de sens contraire.

Si, au lieu d'une spire, placée d'un côté de l'axe seulement, on emploie une boucle symétrique par rapport à lui, on arrive au même résultat. Il suffit, pour le démontrer, de voir ce qui se passe en un tour complet. Dans sa position verticale, cette spire est traversée par le nombre maximum de lignes de force; mais, en se déplaçant, ce nombre diminue pour devenir nul dans le plan horizontal, et reprendre sa valeur primitive, mais en sens inverse, à  $180^\circ$ . Dans ce mouvement, chaque portion de la spire, située du côté de l'axe, est le siège d'une force électromotrice; mais, comme les lignes coupées n'ont pas la même direction des deux côtés de l'axe, il en résulte que le sens des courants induits sera également différent dans chaque portion de la boucle, et que, au lieu de s'annihiler, ils s'ajoutent.

Pendant une demi-révolution, on recueillera dans le circuit extérieur un courant qui deviendra de sens contraire pendant l'autre moitié de la rotation.

En résumé, quelle que soit la forme de la boucle, les phénomènes sont les mêmes, et l'on retrouve toujours dans le circuit extérieur deux courants de sens contraire par révolution.

Au lieu de produire le champ magnétique avec un inducteur à deux pôles, on peut en disposer un nombre pair autour de l'axe de rotation; on ne modifiera que la durée des phénomènes; au lieu de changer toutes les demi-révolutions, le courant sera renversé en passant d'un champ à l'autre.

La spire peut également être remplacée par une bobine formée de plusieurs tours; la valeur absolue de la force électromotrice sera seule changée, puisqu'elle dépend des dimensions du conducteur.

En portant sur une ligne horizontale les différentes valeurs de la période de rotation, et sur les [lignes verticales correspondantes la valeur de la force électromotrice, on peut construire une courbe figurative de la marche du phénomène. Toute la partie au-dessus correspond au courant dans un sens, et la partie en dessous au courant de sens contraire (fig. 89).

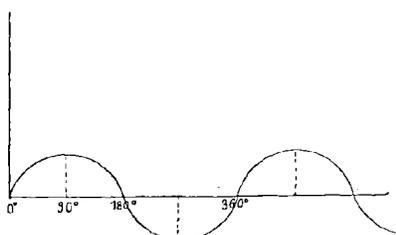
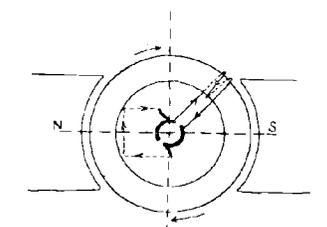
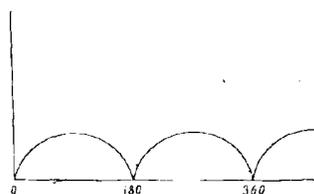


Fig. 89. — Courbe figurative de la force électromotrice développée dans une spire pendant son mouvement de rotation.

On peut transformer très facilement les courants alternativement de sens contraire, en courant toujours du même sens, au moyen d'une disposition mécanique spéciale. Sur l'arbre de rotation, formé par une substance isolante, on place un cylindre métallique fendu en deux parties, et désigné sous le nom de *commutateur*. Chaque partie correspond à l'une des extrémités de la spire (fig. 90). Sur ce cylindre



Connexion des fils de la bobine et du commutateur.



Courbe figurative des valeurs de la force électromotrice.

Fig. 90. — Machine élémentaire à courant redressé.

frottent deux lames métalliques fixes ou balais, communiquant avec le circuit extérieur également fixe. Dans une rotation complète, chaque balai passe successivement sur les deux lames du commutateur tournant avec les spires. Si on fait coïncider le changement de lame avec celui du sens du courant, on recueillera dans le circuit extérieur un courant ayant toujours la même direction : on dit que la machine fournit alors des courants redressés. La représentation graphique de la force électro-

motrice est figurée par une courbe située entièrement au-dessus de la ligne horizontale (fig. 90).

Dans les deux cas examinés précédemment, la spire était dans le plan même de rotation. On conçoit aisément qu'on puisse la placer dans d'autres positions permettant la variation du nombre des lignes de force coupées : c'est ce que l'on retrouve dans quelques machines, la marche des phénomènes est la même que précédemment.

**Machines à plusieurs bobines** (fig. 91). — Au lieu d'une seule bobine, on en dispose deux diamétralement opposées ; la force électromotrice aura dans chacune d'elle la même valeur absolue. On pourrait avoir deux circuits extérieurs distincts correspondant à chaque bobine, mais, le plus souvent, on réunit ces dernières aux mêmes lames du collecteur, et elles fournissent chacune, dans le circuit extérieur, la moitié de l'intensité du courant induit total double de celui d'une machine à une spire. Il faut remarquer que, pour établir cette connexion,

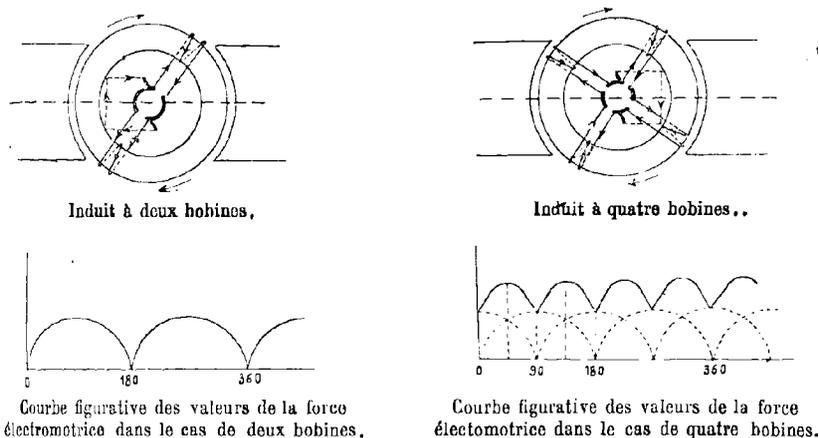


Fig. 91. — Machines à plusieurs bobines.

la fin d'une bobine doit correspondre au commencement de l'autre; elles sont montées en quantité, c'est-à-dire dans des conditions identiques à celles de deux piles de même voltage dont les pôles de même nom se réunissent sur le circuit extérieur.

Ce mode de connexion pour deux bobines symétriques par rapport à l'axe est le plus employé; on pourrait cependant les réunir en tension comme on le rencontre dans quelques machines:

En plaçant deux nouvelles bobines à  $90^\circ$ , avec les premières, on peut modifier encore les résultats. En effet, lorsque deux des bobines sont à  $0^\circ$ , correspondant à une force électromotrice nulle, les deux autres sont à  $90^\circ$ , c'est-à-dire dans la position de la force électromotrice maximum. Après une rotation de  $90^\circ$ , les deux premières passent par la force électromotrice maximum, et les deux autres au contraire par la force minimum. Si on groupe convenablement les bobines sur le commutateur, le circuit extérieur ne sera jamais parcouru par un courant passant par zéro. Ce résultat est obtenu en fendant en quatre le cylindre du commutateur, et en réunissant à chaque lame le commencement d'une bobine et la fin de la bobine voisine. Avec cette disposition les forces électromotrices s'ajoutent à chaque instant.

En examinant alors la courbe obtenue en portant sur la verticale la force électromotrice due à toutes les spires, on remarque que les oscillations sont moindres que précédemment.

Quand on multiplie le nombre de bobines, on diminue encore les variations dans le circuit extérieur. Chaque bobine suit toujours la même marche, mais, comme elle est intercalée dans le circuit total qu'elle forme avec les autres bobines, ses changements de valeur n'ont pas la même importance. La force électromotrice résultante est égale à la somme des forces électromotrices développées dans la moitié des bobines, dont une passe par zéro, une deuxième par la valeur maximum, et les autres par des valeurs intermédiaires. Les deux moitiés de l'induit se réunissent en quantité aux deux balais fournissant chacun la moitié du courant total, dont les oscillations sont d'autant plus faibles que le nombre des bobines est élevé.

La machine est dite alors à *courants continus*. Toute machine dans ces conditions est munie d'un commutateur désigné plus spécialement sous le nom de *collecteur*. Les autres machines où le courant n'est pas redressé sont dites à *courants alternatifs*, il n'y a plus à proprement parler de collecteur, le courant se transmet au moyen de deux bagues métalliques sur lesquelles frottent deux balais.

**Diverses formes d'induit.** -- Quel que soit le type de machine, l'induit peut recevoir des formes absolument différentes, pourvu qu'ils satisfassent à la condition de la variation des lignes coupées.

Dans le cas où l'on emploie des bobines situées d'un côté de l'axe, l'induit est dit en *anneau* (fig. 92), si au contraire, elles sont symé-

triques, par rapport à cet axe, alors on le désigne sous le nom d'induit en *tambour* (fig. 92). S'il n'y a aucune modification dans la marche des phénomènes, il y en a une au point de vue de l'utilisation du champ. Les bobines, en effet, sont montées sur des masses métalliques qui, meilleures conductrices que l'air, concentrent les lignes de force. Elles servent en outre à maintenir les spires. Ces masses magnétiques constituent l'*âme* de l'induit dont elles ont la forme générale. Dans le cas

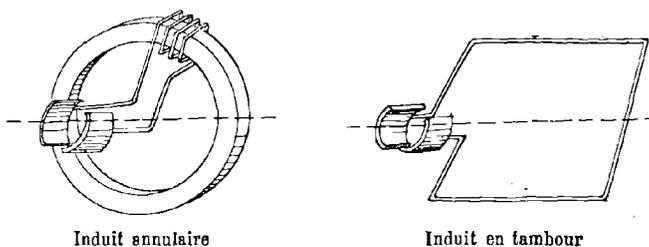


Fig. 92. — Diverses formes d'induit.

de la machine à anneau, le champ magnétique se divise en deux à sa sortie de l'un des pôles des inducteurs pour parcourir les deux moitiés de l'anneau et se réunir ensuite à son entrée dans l'autre pôle. Il en résulte que chaque spire ne peut couper au maximum que la moitié des lignes de force. Dans le cas de l'armature en tambour, elle coupe au contraire complètement le champ.

Lorsqu'au lieu d'être dans des plans passant par l'axe de rotation comme précédemment, les bobines sont dans un plan perpendiculaire, on obtient l'induit à *disque*. La marche du phénomène est la même que précédemment, et on peut obtenir des courants alternatifs ou continus. Ces machines sont multipolaires, et, c'est en passant d'un champ dans un autre plutôt que dans un même champ, qu'ont lieu les variations des lignes coupées. L'induit est dépourvu généralement d'âme pour la concentration des lignes de force.

Il existe enfin un autre sorte d'induit, dans lequel les bobines sont enroulées autour de pièces métalliques disposées suivant les rayons de la circonférence de rotation : c'est l'induit *polaire*. La machine est multipolaire, et les pôles des inducteurs disposés radialement sont intérieurs ou extérieurs à l'induit.

Connaissant le fonctionnement général de l'induit et des divers organes, il convient d'examiner la construction de quelques machines électriques.

## 2° MACHINES A COURANTS CONTINUS

**Inducteurs.** — Dans les machines à courants continus, le champ magnétique est produit, soit par des aimants permanents, soit par des électros-aimants. Dans le premier cas, la machine est dite *magnéto électrique*, dans le second *dynamo électrique*.

Les premières machines de Pixi en France (1833), de Clarke en Angleterre, étaient magnéto électriques.

C'est Wilde qui, le premier en Angleterre (1867), imagina de substituer aux aimants naturels des électro-aimants. Le courant de la bobine des électros était fourni par une petite machine magnéto placée au-dessus de la première. Le champ obtenu était de beaucoup supérieur à celui des aimants permanents.

Peu de temps après, Wheastone remplaça la petite magnéto excitatrice de Wilde par une pile; supposant que l'excitation ainsi obtenue serait trop faible, il fit passer le courant induit de la dynamo dans les spires de l'électro-aimant.

Enfin, à peu près en même temps, Ladd et Siemens (1867) supprimèrent toute excitation extérieure, et ne conservèrent que la disposition de Wheastone, consistant à prendre l'excitation de la machine sur le courant induit lui-même. Ce résultat est obtenu en perdant une partie du courant induit 1 à 2 %, mais il a l'avantage d'être très simple.

On peut se demander comment une machine, qui au repos ne présente aucun caractère d'aimantation, peut donner un champ magnétique aussitôt qu'elle sera mise en mouvement. On donne comme explication sommaire de cet amorçage l'intervention du magnétisme rémanent ou de celui de la terre. Quoi qu'il en soit, les machines dynamos sont les seules employées actuellement.

On peut, tout en utilisant le courant de l'induit à l'excitation, recourir à plusieurs dispositions (fig. 93).

1° Ou bien faire passer le courant total dans les conducteurs, la machine prend le nom *dynamo en série* ;

2° Ou n'en prendre qu'une partie, c'est-à-dire que, dans le circuit des inducteurs, il ne passe qu'une fraction ou dérivation du courant induit total, la dynamo est dite *shunt* ou en *dérivation* ;

3° On peut employer un moyen mixte, non seulement le courant total

induit passe dans les inducteurs, mais encore une dérivation de ce courant, c'est-à-dire que les inducteurs possèdent deux enroulements. On dit que la dynamo est *compound*.

Chaque mode d'excitation des inducteurs donne à la machine des

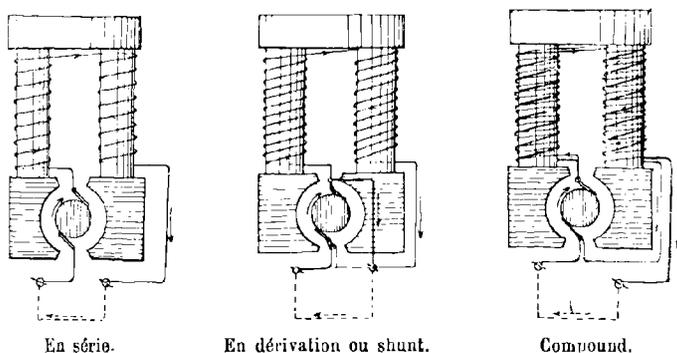


Fig. 93. — Divers modes d'excitation.

propriétés spéciales, et convient pour une application déterminée.

Les électros-aimants présentent trois parties importantes : les *noyaux* autour desquels est enroulé le circuit d'excitation, les *pièces polaires* entre lesquelles tourne l'induit et la *culasse* qui réunit les noyaux.

Ces trois parties, qui constituent les électros, devraient être construites, au point de vue magnétique, en fer aussi doux que possible. Mais, par suite des difficultés d'exécution et du prix de revient, cette disposition n'est réalisée que dans les machines de faible dimension. Très souvent, les noyaux seuls sont en fer, la culasse et les épanouissements polaires sont en fonte. Enfin, on construit des dynamos dans lesquelles les électros et la plaque de fondation de la machine sont d'un seul bloc de fonte.

La valeur du champ magnétique dépend du nombre de spires et de l'intensité du courant qui circule dans le fil des bobines des noyaux.

Beaucoup de machines sont à deux pôles, mais il en existe à plusieurs pôles placés symétriquement autour de l'induit. Il n'y a pas précisément d'avantage économique sur les machines bipolaires, mais on les emploie dans des circonstances spéciales, soit pour grouper les organes, soit pour avoir des pièces démontables plus faciles à manier, comme cela est nécessaire dans les machines de forte dimension.

Avec les machines multipolaires, toutes les bobines qui occupent la même position, par rapport aux divers champs, sont au même potentiel.

Si on les groupe en tension, la machine sera à haut voltage; au contraire, si elles sont réunies en quantité, elle sera à forte intensité.

Quant à la forme donnée aux inducteurs, elle est extrêmement variable, mais les épanouissements polaires sont toujours disposés de manière à entourer l'induit le plus possible.

**Induit.** — L'induit présente deux parties : l'âme ou noyau et les bobines. L'âme a pour but de concentrer les lignes de force; il y a intérêt à la prendre aussi magnétique que possible; on emploie de préférence le fer doux. Elle doit être très rapprochée des pièces polaires, de manière à éviter toute déperdition, et c'est dans l'intervalle qui les sépare que l'on doit loger les bobines. Le noyau est lisse ou présente des dents comme un engrenage. Dans ce dernier cas, on loge les bobines entre deux dents; l'espace qui sépare l'âme des pièces polaires est alors réduit au minimum.

Le noyau étant animé d'un mouvement de rotation dans le champ est le siège de courants induits. C'est un fait que Foucault a démontré expérimentalement. Ces courants parasites, outre le travail qu'ils absorbent, chauffent la masse métallique au point de compromettre l'isolement des fils de la bobine. On les combat en employant, pour la construction de l'âme, des masses métalliques séparées électriquement les unes des autres, de manière à augmenter la résistance de ces courants, et par suite à diminuer leur intensité. La séparation a lieu suivant des sections perpendiculaires au champ magnétique ou au mouvement; on emploie très souvent pour l'armature des disques de tôle ou des fils de fer.

Le fil des bobines doit être bon conducteur du courant, de manière que, pour une force électromotrice donnée, l'intensité obtenue soit très grande. On emploie le cuivre exclusivement. Pour diminuer encore cette résistance, il faut donner aux bobines une faible longueur, suffisante cependant pour embrasser le plus grand nombre de lignes du champ.

La force électromotrice, dépendant de la longueur du conducteur, les fils des bobines des machines à haut voltage sont très longs. Dans ce cas, comme l'intensité est généralement faible, le fil est d'une faible section. L'isolement doit en être fait avec soin. Si, au contraire, la dynamo est à forte intensité, la section du fil doit pouvoir donner facilement passage au courant et empêcher tout échauffement. Quant à l'épaisseur des couches de fils superposés, elle ne doit pas être très considérable.

L'induit est monté sur l'arbre par l'intermédiaire de pièces non ma-

gnétiques empêchant toute perte des lignes de force du champ. On emploie concurremment le bronze et le bois.

Les machines à fort débit, s'échauffant intérieurement plus facilement que les autres, doivent avoir leur induit ventilé pour empêcher toute élévation exagérée de la température.

**Collecteur.** — Chaque bobine a ses deux extrémités reliées à deux lames correspondantes du collecteur qui a pour but d'assurer la transmission du courant des organes mobiles au conducteur fixe. Le mode de liaison peut se faire de diverses façons. Il y a autant de lames au collecteur que de bobines ; il est formé par une série de lames métalliques en cuivre rouge ou en bronze phosphoreux disposées sur un cylindre. Les lames du collecteur doivent être isolées avec beaucoup de soin les unes des autres, sans cela on perdrait toute la différence de potentiel qui pourrait exister entre les lames en contact. L'isolement est obtenu soit par de l'amiante, de la fibre vulcanisée, du mica et quelquefois par une simple couche d'air. Le collecteur doit être facilement démontable pour pouvoir en faire la visite.

Son montage sur l'arbre de rotation doit se faire avec beaucoup de soin ; c'est-à-dire qu'il doit être fait parfaitement tourné et centré. La surface du collecteur doit être tenue très proprement ; il faut éviter toute introduction de métal entre deux lames voisines.

**Balais.** — Le passage du courant du collecteur aux balais doit être assuré par un contact intime, évitant la production des étincelles, qui absorbent à la fois une grande quantité d'énergie, et peuvent en outre détériorer ces divers organes. Les balais les plus employés sont formés par un faisceau de lames ou de fils de cuivre soudés à l'une de leurs extrémités et maintenus en cet endroit dans une gaine spéciale ou porte-balais. Un ressort puissant appuie les lames sur le collecteur. Le nombre de balais est de deux, mais, dans les machines multipolaires, il y en a autant que de pôles, à moins toutefois qu'on ait recours à des dispositifs spéciaux ayant pour but de ramener ce nombre à deux. Du reste, quel que soit le système adopté, la complication est la même.

Pour produire le redressement du courant, on a été amené à placer les balais sur le diamètre vertical perpendiculaire à la direction du champ magnétique qui correspond au nombre maximum de lignes de force traversées par les spires. Dans l'application, ce résultat est modifié.

En effet, l'induit lui-même donne naissance à un champ dont les lignes de force sont perpendiculaires à celles de l'inducteur, il en résulte que la distribution finale des lignes est modifiée, et que le maximum des lignes coupées ne se trouve plus sur la verticale, mais sur un diamètre faisant avec cette verticale un angle qu'on appelle l'angle de calage.

Comme la machine n'a pas toujours le même débit, le champ dû à l'induit varie; il en est de même du champ résultant et par suite de l'angle de calage.

On doit donc, à chaque instant, pouvoir faire varier la position des balais. A cet effet les porte-balais sont fixés sur un collier qui se déplace autour du collecteur et entraîne avec lui les portes-balais, qui doivent se trouver l'un par rapport à l'autre toujours sur le même diamètre.

En pratique, le diamètre de commutation est caractérisé par l'absence d'étincelles aux balais, c'est qu'en effet, le nombre des lignes de force coupées étant maximum en cet endroit, la différence de potentiel entre deux bobines voisines est minimum.

**Machine Gramme.** — La première machine à courants continus est celle de Paccinotti, malheureusement restée oubliée dans la collection de Pise (1864). Le principe en a été retrouvé, en 1869, par Zenobe Gramme, dont la machine a reçu des développements considérables. Depuis son apparition, de nombreuses modifications ont été apportées, mais dans toutes on retrouve les mêmes principes généraux.

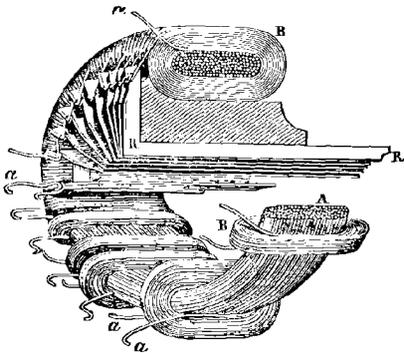


Fig. 94. — Anneau Gramme.

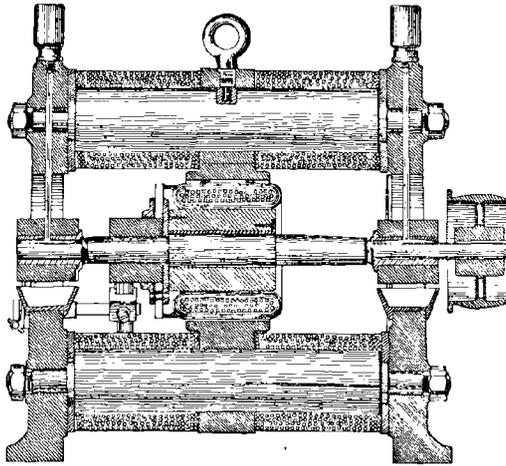
A, Ame en fils de fer; — B, Bobines; — a, Extrémités du fil des bobines à réunir aux lames du collecteur R.

*Induit.* — L'induit a la forme d'un anneau — anneau Gramme — l'âme est en fils de fer très pur, isolés les uns des autres par un vernis à la gomme laque. La surface de cet anneau est recouverte de fils de cuivre entourés de coton et de gomme laque. L'enroulement se fait par sections égales dont on laisse les extrémités libres pour les réunir ensuite aux lames du collecteur. Lorsque l'anneau est terminé, il est monté sur l'arbre par l'intermédiaire d'un moyeu en bois (fig. 94)

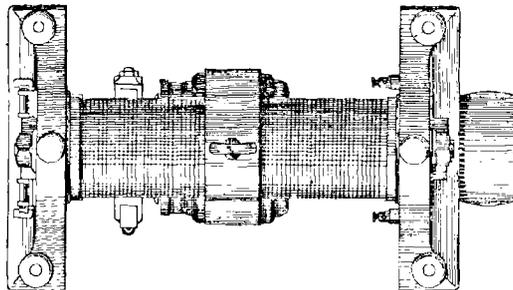
Le collecteur est formé par la juxtaposition de lames de cuivre isolées

il y en a autant que de bobines. Chaque lame est munie d'un appendice auquel viennent s'attacher la fin d'une bobine et le commencement de la suivante. Le collecteur parfaitement centré se monte contre le moyeu en bois. L'extrémité opposée de l'arbre reçoit la poulie de transmission.

Deux balais en fils fins placés sur des porte-balais avec ressorts transmettent le courant. Les porte-balais fixés sur un collier peuvent tourner autour de l'axe.



Coupe verticale



Plan

Fig. 95. — *Machine Gramme* (type d'atelier)

*Inducteurs.*— Les inducteurs sont bipolaires ou multipolaires, le plus souvent à pôles consécutifs. Les noyaux sont en fonte et fondus avec le bâtis même de la machine. Les pièces polaires s'épanouissent de manière à entourer presque entièrement l'induit. Suivant la position de ce

dernier, la machine Gramme porte plusieurs noms. Dans le type supérieur, l'induit se trouve tout en haut de la machine dont le bâtis est venu de fonte avec la carcasse des électros disposés alors verticalement.

Au contraire, dans le type d'atelier (fig. 93), les deux électros sont placés horizontalement, et chacun d'eux porte deux bobines de fils ; ils sont à pôles conséquents. L'induit est au milieu de l'appareil, et son axe de rotation est parallèle à celui des électros. Le type octogonal, comme son nom l'indique, est une machine multipolaire à huit pôles ne présentant rien de particulier.

L'anneau Gramme a servi de point de départ à une série de machines d'un fonctionnement très satisfaisant. On a cherché à rendre plus parfaite la liaison du noyau et de l'arbre, à empêcher le glissement du fil induit sur la circonférence de l'anneau, et à ventiler l'intérieur de l'armature.

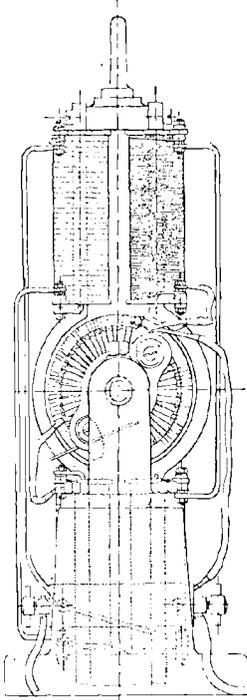
Quelques constructeurs ont changé également la forme de l'anneau en augmentant le diamètre, et diminuant la longueur ; d'autres ont essayé le système inverse. On peut dire que toutes les combinaisons possibles ont été imaginées, mais le fonctionnement et le rendement de ces machines sont sensiblement les mêmes que ceux de la dynamo primitive.

**Machine Siemens.** — On oppose à la machine Gramme la machine Siemens, à cause de la forme différente de son induit. Le type de ces machines a été imaginé par M. von Hefner Alteneck, de la maison Siemens de Berlin, en 1872.

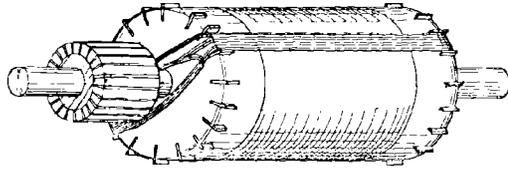
*Induit.* — L'armature a la forme cylindrique ou en tambour. La carcasse de l'armature peut être en bois ou bien formée par deux plateaux en bronze supportant une feuille de tôle mince. Cette carcasse est recouverte de fils de fer doux, isolés les uns des autres, et dont l'enroulement a lieu dans le sens perpendiculaire à l'axe de l'arbre de la machine.

Les bobines sont obtenues en enroulant, dans le sens des génératrices du cylindre, des fils de cuivre bien isolés ; chaque bobine fait plusieurs tours complets comme dans l'anneau Gramme ; les bobines sont reliées entre elles d'une manière continue ; la fin d'une section et le commencement de l'autre aboutissant à la même lame du collecteur. Cet enroulement présente la particularité suivante : c'est que chaque spire, ou

bobine élémentaire, couvre deux génératrices du tambour, et, comme il



Élévation.



Tambour Siemens.

Fig. 96. — Machine Siemens.

ya autant de lames au collecteur que de bobines, on aurait couvert complètement le cylindre en utilisant une moitié seulement du collecteur. On obtient l'utilisation complète de ce dernier en doublant le nombre des sections (fig. 96).

Le collecteur et les balais sont construits d'une manière identique à ceux de la machine Gramme.

*Inducteurs.* — Les noyaux sont formés par des lames en fer forgé, cintrées en leur milieu pour le passage de l'induit ; les

extrémités sont réunies par leurs culasses qui maintiennent l'appareil : ils sont à pôles conséquents.

Dans les premières machines, les électros étaient disposés horizontalement, mais, par suite de la place importante qu'ils occupaient, on les place maintenant verticalement (fig. 96). Du reste, la variété des machines Siemens est aussi considérable que celle des machines Gramme.

La particularité remarquable, dans ces deux types de machines, c'est que de prime abord ces deux constructeurs sont arrivés à obtenir un rendement électrique considérable, qui n'est pas moindre de 95 %, et à ce point de vue les améliorations apportées ont été insignifiantes.

Les dynamos Siemens sont encore très employées ; on en fait du reste de toute forme et de toutes dimensions, suivant l'application.

**Machine Edison.** — Il en existe plusieurs modèles, caractérisés par la construction de l'anneau, par sa position par rapport aux électros, et enfin par la forme des inducteurs.

*Induit.* — L'âme de l'armature est formée de disques très minces, séparés les uns des autres par du mica ou du carton d'amiante. Ces disques sont serrés entre eux au moyen de boulons, et mieux encore au moyen de deux écrous placés sur l'arbre. Le fil de l'induit est remplacé par des barres de cuivre, comme cela avait lieu dans les machines Siemens à haute intensité. Il n'y a pas de barres ou de fils sur les faces verticales du tambour; la liaison est obtenue électriquement au moyen des disques munis de deux dents pour assurer cette liaison. Le collecteur est monté sur l'arbre à côté du tambour, dont il est séparé par un écran isolant. Dans les premières machines Edison, le nombre des bobines, comme celui des lames du collecteur était impair, mais depuis il a été ramené à un chiffre pair. Il en résultait que les balais, placés sur un même diamètre, ne passaient pas au même instant d'une section à l'autre. L'emploi des barres de cuivre fait de ces machines des dynamos à grande intensité, mais on les remplace souvent par de simples fils de cuivre de manière à augmenter le voltage et simplifier la construction.

*Inducteurs.* — Dans les premières machines, l'enroulement des électros était à 3 parties superposées, ne comportant qu'une seule couche de fil; les noyaux et la culasse étaient en fer forgé; les pièces polaires, en fonte. L'induit se plaçait au bas de la machine pour en augmenter la stabilité; on avait dû intercaler entre les pièces polaires et le bâtis une lame isolante en zinc. Le bâtis porte les deux balais; il est monté sur rails, de manière à pouvoir faire varier sa position d'après la tension de la courroie (fig. 97).

Dans les machines récentes, la hauteur des électros a été beaucoup diminuée (machine Edison Hopkinson). Ces machines, dont le rendement électrique atteint 90 %, sont très employées. On en rencontre à Paris de nombreux exemplaires dans les usines du Palais-Royal, des Halles, de l'Opéra, où il existe des machines de 100 kilowatts.

La Société Edison construit aussi des machines multipolaires, comme celle dont elle dispose à l'usine centrale de l'avenue Trudaine, et dont la puissance atteint 200 kilowatts.

**Machine Parsons.** — Dans toutes les dynamos, la force électromotrice est proportionnelle à la vitesse de variation des lignes de force coupées, c'est-à-dire à la vitesse de l'induit. Aussi, dans certaines machines, fait-on tourner ces derniers à un nombre de tours considérables. Dans les machines Parsons, on atteint facilement 10.000 tours:

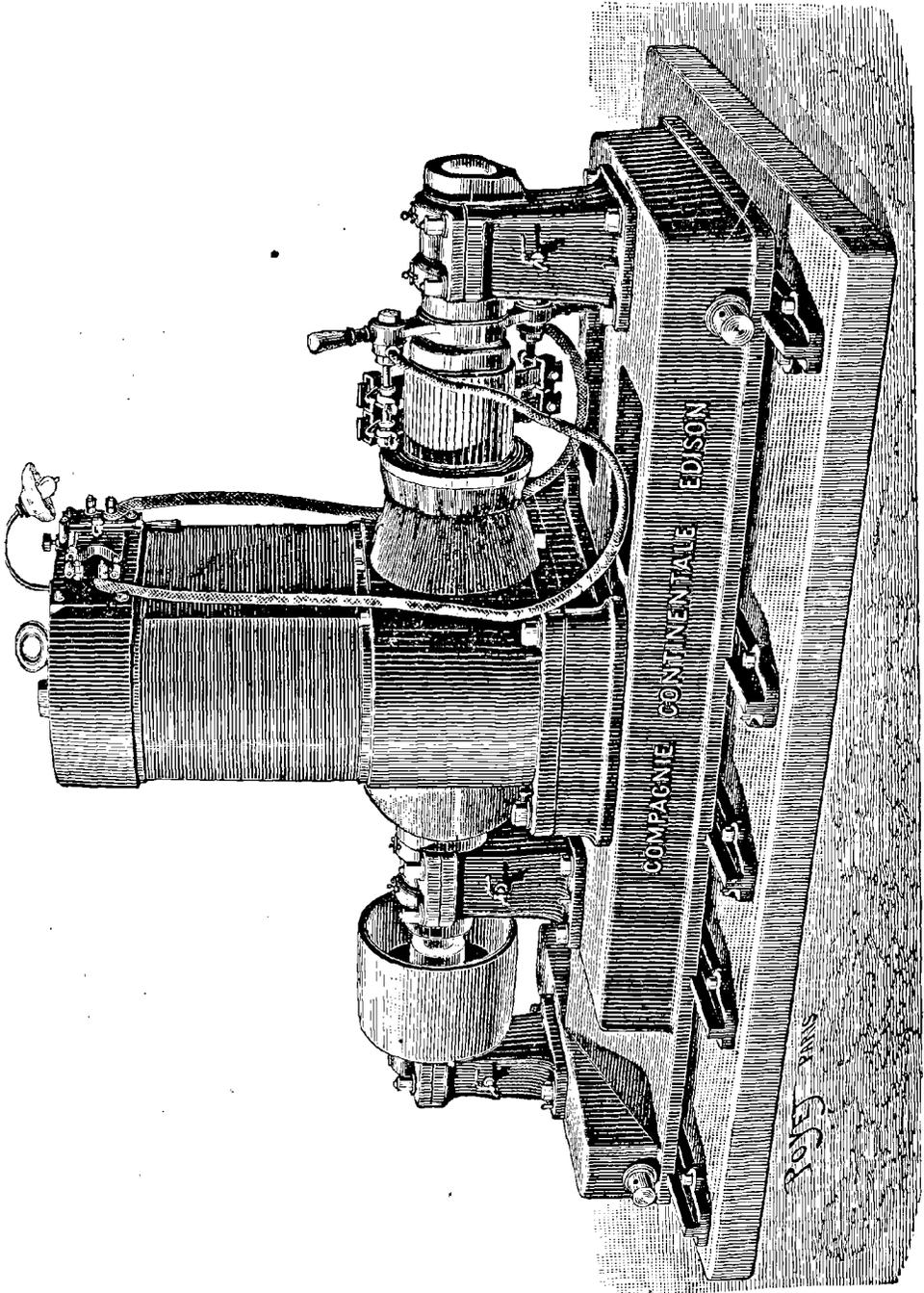


Fig. 97. — Machine Edison

la vitesse moyenne étant de 5 à 6.000. La dynamo est montée directement sur l'arbre même du moteur qui, dans le cas, est une turbine à vapeur.

L'armature de cette machine a une forme allongée, destinée à diminuer la force centrifuge. Le noyau comporte une série de disques en fer, isolés les uns des autres, et sur lesquels est disposé l'enroulement formé par des fils de cuivre passant dans des trous ménagés sur les disques de fer. L'induit est consolidé par des frettes en fils d'acier.

Le collecteur est la partie délicate de cette dynamo. Il est constitué par des lames de bronze frettées également ; le centrage doit en être fait avec beaucoup de soin. Le nombre des lames, comme celui des bobines, est impair.

Les inducteurs ne présentent rien de particulier : ils sont semblables à ceux de la machine Edison ; les noyaux en fonte, rapprochés assez près de l'induit, doivent être tournés très exactement.

Cette machine est très sensible, et la régulation est obtenue en agissant sur l'admission de vapeur. Son poids et son volume réduits la font rechercher pour l'éclairage des navires et dans les installations où l'espace fait défaut.

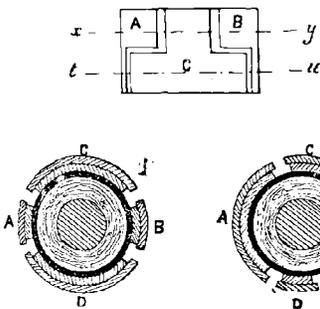
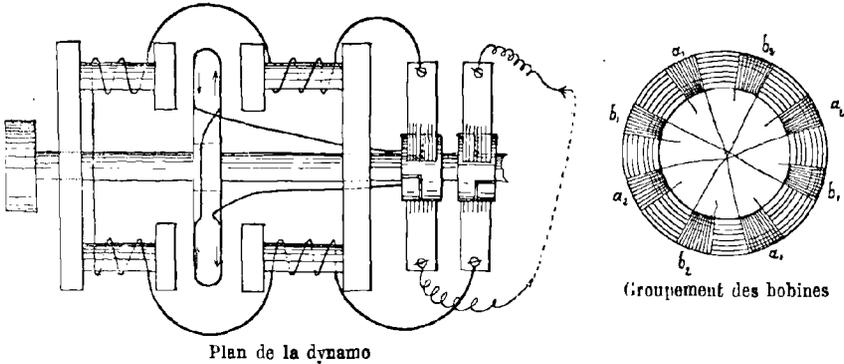
**Machine Brush.** — Dans la dynamo Gramme et ses dérivées, les bobines d'un même côté des balais sont réunies en tension, et les deux moitiés de l'anneau sont ensuite groupées en quantité. On peut employer d'autres dispositions, comme cela a été fait dans la machine américaine Brush. Elle est très ancienne, et, dès le début, elle fonctionnait comme machine à courants alternatifs ; il a été facile de la transformer en machine à courants continus.

Le champ magnétique est obtenu au moyen de deux électros horizontaux en fer à cheval, dont les pôles de même nom sont en regard. Les épanouissements polaires en fonte présentent un développement plan, embrassant les  $\frac{3}{8}$  de la circonférence de l'induit.

L'âme de ce dernier est formée par une série de cercles en tôle, séparés par des entretoises formant saillie, et présentant par suite des creux où viennent se loger les bobines de l'induit. Leur nombre est très variable, mais toujours un multiple de quatre (fig. 98).

Les bobines, placées à l'extrémité d'un même diamètre, sont au même potentiel, puisqu'elles coupent le même nombre de lignes de force ; dès lors, si on les monte en tension, la force électro-

motrice sera doublée. A cet effet, deux de leurs extrémités sont réunies directement, et les deux autres vont aux lames d'un commutateur ; le circuit se ferme ensuite par le conducteur extérieur. Les bobines, si-



Commutateur Noyau formé par des cercles de tôle superposés  
Fig. 98. — Machine Brush.

tuées sur le diamètre perpendiculaire au précédent, sont groupées de la même façon, et réunies à un deuxième commutateur (fig. 98).

Les balais sont communs à ces deux commutateurs ; il en résulte que les deux circuits des bobines sont réunis à leur tour en quantité, et fournissent la moitié de l'intensité du courant total.

Mais, il se présente une difficulté, c'est qu'ils n'ont pas constamment la même force électromotrice, et au moment où l'une des paires de bobines est à son maximum, l'autre passe par zéro, et forme une dérivation importante sur le circuit principal. La disposition du commutateur permet de supprimer, pendant  $1/8$  de la circonférence, ces bobines inactives. A cet effet, chaque lame présente une saillie égale à  $1/8$  de

la circonférence du commutateur, pénétrant dans un vide égal, ménagé sur la lame correspondante du commutateur voisin. Lorsque le balai est en contact avec cette lame prolongée, la lame correspondante de l'autre commutateur est hors circuit.

On réunit généralement sur un anneau deux ou trois groupes semblables aux précédents, chacun avec ses deux commutateurs et ses deux balais. Il est ensuite facile de les réunir en tension ou en quantité, suivant les besoins (fig. 98).

La machine Brush est assez employée en Amérique; elle est construite le plus souvent pour fournir un voltage élevé. Dans ces conditions, l'excitation des électros-aimants est faite en série.

**Machine Desroziers.** — Dans toutes les machines précédentes, les spires de l'induit sont dans des plans passant par l'axe de rotation; si on les ramène dans un plan perpendiculaire, on aura l'induit à disque appliqué à la machine Desroziers.

*Induit* — L'armature comporte un disque métallique en maillechort, claveté sur l'arbre, et sur lequel viennent se fixer deux autres disques en carton, portant chacun la moitié de l'enroulement. Sur la face intérieure de chaque plateau en carton, est disposée une série de fils suivant le rayon de la circonférence; sur la face extérieure, une deuxième

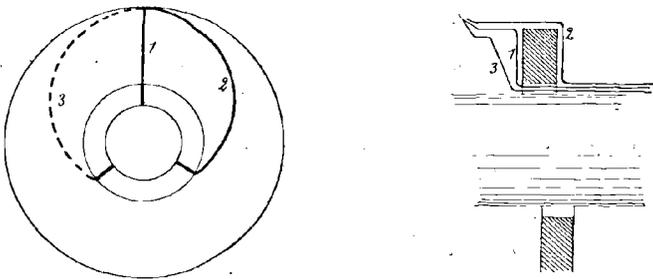


Fig. 99. — Détail du connecteur

série de fils, suivant des arcs de cercle, destinés à relier les fils radiaux entre eux. Le circuit se dirige de la circonférence au centre — face intérieure — puis il parcourt un arc de cercle — face extérieure — va ensuite du centre à la circonférence, et enfin parcourt un nouvel arc de cercle.

Il passe alors sur le deuxième plateau, où il recommence le même parcours. On évite ainsi les croisements des fils. Chaque bobine comporte plusieurs fils parallèles.

La machine étant multipolaire, il y a à chaque instant plusieurs bobines qui sont au même potentiel. Pour recueillir le courant, il faudrait autant de balais que de pôles, mais on évite cette complication au moyen d'un commutateur spécial.

Dans une machine à six pôles, à une bobine de l'induit correspondent trois lames du collecteur. Une première lame est reliée directement au fil de la bobine; la deuxième est à 120 degrés à droite, et la troisième à 120 degrés à gauche. Le collecteur a donc trois fois plus de lames qu'il y a de bobines; il en résulte que chaque bobine communique avec

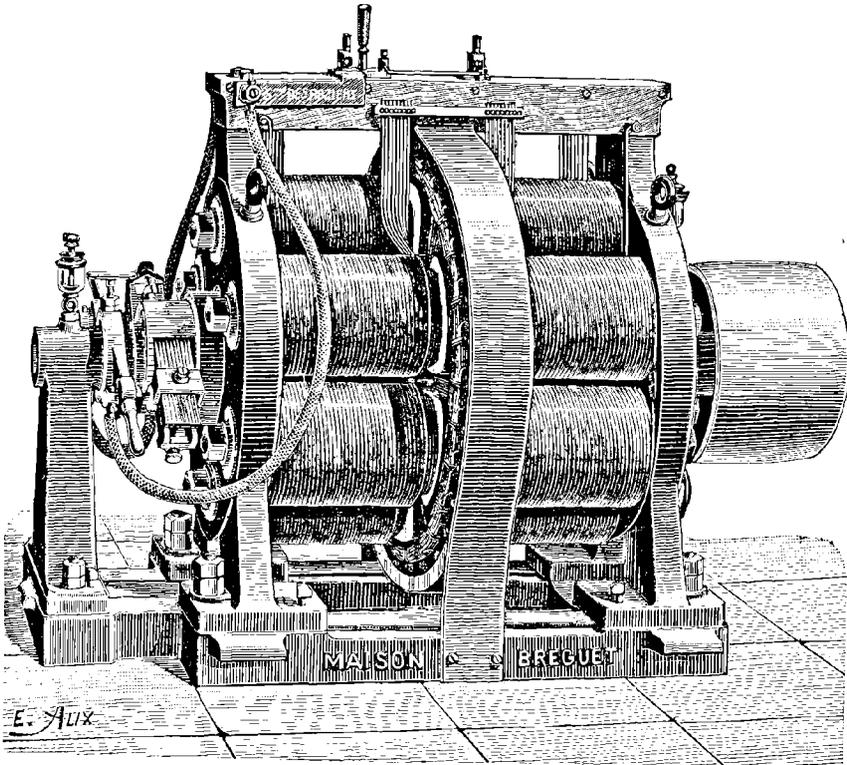


Fig. 100. — Machine Desroziers

un balai trois fois par tour, c'est-à-dire un nombre égal à celui de ses phases.

Pour empêcher tout croisement de fils, on adjoint au collecteur un or-

gane spécial ou *connecteur*, qui n'est autre qu'un plateau en bois intercalé entre le commutateur et l'induit (fig. 99). Le fil reliant la bobine à la lame à 0° traverse simplement le connecteur en bois. Celui qui correspond à la lame à 120° à droite passe sur la face avant où il décrit un arc de cercle en conséquence. Enfin, celui qui doit joindre la bobine à la lame à 120° à gauche, décrit l'arc correspondant à gauche, mais sur la face arrière du plateau.

On aurait pu avoir sur le collecteur un nombre de lames égal à celui des bobines, à la condition de réunir à la même lame trois bobines à 120°.

*Inducteurs.* — Ils sont formés par deux séries d'électro-aimants montés perpendiculairement sur deux disques verticaux parallèles. Sur un même plateau, et d'un plateau à l'autre, ils sont alternativement de nom contraire. Les noyaux des électros sont en fonte, et les disques forment culasse. L'induit ayant peu d'épaisseur, on peut rapprocher suffisamment les pièces polaires, pour qu'il devienne inutile de mettre du fer dans l'armature. De plus, on peut augmenter le diamètre du disque qui atteint alors une grande vitesse à la périphérie, ce qui permet de réduire le nombre de tours à la minute (fig. 100).

Toutefois, le rendement de la machine Desroziers est relativement faible.

Elle se déforme en outre facilement. Ces dynamos sont assez répandues; un type courant est celui de 25 kilowatts sous 110 volts. Il existe également des machines de 90 kilowatts.

**Machine Thomson-Houston.** — La série des divers types de dynamos à courants continus se termine par la machine Thomson-Houston, qui tient le milieu entre les machines à courants continus et les dynamos à courants alternatifs. Bien qu'elle soit munie d'un collecteur, le nombre des bobines est assez restreint pour que le courant redressé présente des oscillations importantes.

*Induit.* — L'armature est sphérique; le noyau est formé par deux hémisphères en fonte calées sur l'arbre moteur, et maintenues par des entretoises en fer. A la périphérie, elles présentent un certain nombre de chevilles destinées à recevoir le fil de fer recuit qui forme l'âme de l'induit. Un isolant en papier verni à la gomme laque termine cet ensemble (fig. 101).

L'induit comporte trois bobines seulement, embrassant entre elles un angle de 120 degrés. Comme c'est sur le noyau que l'intensité du champ est la plus considérable, il faut que la distance moyenne des bobines à

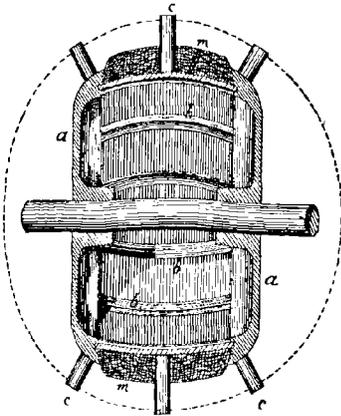


Fig. 101.

Induit de la machine Thomson-Houston

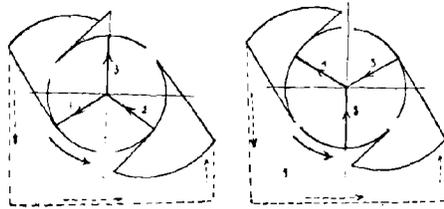


Fig. 102. — Passage du courant aux balais

ce noyau soit la même pour toutes. A cet effet, on enroule d'abord la moitié de la première, puis la moitié de la seconde, toute la troisième, la moitié de la seconde, et enfin l'autre moitié de la première. Des ligatures en fil de laiton consolident les bobines et les empêchent de glisser sous l'action de la force centrifuge. La forme sphérique est très avantageuse; toutes les spires embrassent le champ avec une longueur de fil minimum.

Il y a deux balais diamétralement opposés, mais chaque balai est en deux parties formant entre elles un angle de 60° (fig. 102). Cette disposition permet d'utiliser avantageusement les trois bobines, dont une à chaque instant serait hors du circuit général. Il en résulte que le circuit extérieur est parcouru par le courant de deux bobines, couplées en quantité, et reliées en tension avec la troisième. Si l'on augmente l'angle de 60°, le courant fourni dans certaines positions se ferme sur un des balais, et n'est plus utilisé dans le circuit extérieur, dont la force électromotrice se trouve diminuée d'autant. Ce déplacement des balais est obtenu automatiquement par les variations du courant dans le circuit extérieur.

Comme cette dynamo est à haute tension, en général supérieure à 2.000 volts, il faut éviter la production d'étincelles permanentes qui pourraient avoir lieu entre deux segments du collecteur. Ce résultat est obtenu au moyen d'un soufflet rotatif, placé dans l'axe même de la machine, de manière à refouler l'air dans le collecteur.

*Inducteurs.* — La machine est bipolaire, les deux inducteurs sont

horizontaux et présentent deux pièces polaires hémisphériques entourant l'induit. La culasse est constituée par des barreaux d'acier réunissant les extrémités opposées aux pièces polaires, et formant ainsi entretoises.

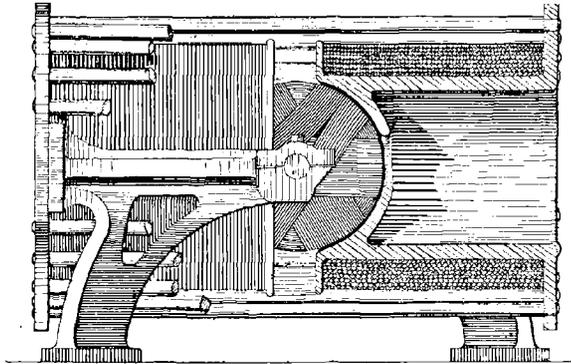


Fig. 103. — Machine Thomson-Houston.

Ces machines, excitées en série, sont généralement employées pour l'éclairage à arc en série ; leur fonctionnement est très régulier.

**Choix des Machines.** — Les divers types de machines examinés précédemment donnent une idée de la construction générale des dynamos. On comprend aisément, qu'en faisant varier l'un des organes, on puisse obtenir une machine nouvelle, ce qui explique leur nombre considérable.

Toute dynamo bien conditionnée doit présenter quelques caractères généraux indispensables. Une grande sûreté, dans la marche et l'absence fréquente de réparations, sont déjà de bonnes garanties. La capacité, c'est-à-dire le rapport de l'énergie fournie au poids total de la machine, doit être aussi élevée que possible.

La valeur d'une dynamo se mesure par son rendement total. Le rendement total est le rapport entre l'énergie électrique recueillie aux bornes de la machine et celle qui lui est fournie par le moteur à vapeur. Dans quelques dynamos, ce rendement atteint 92 %. L'énergie absorbée par la machine elle-même doit être très faible, car elle diminue d'autant le rendement.

La dynamo ne doit pas donner d'étincelles aux balais, qui non seulement absorbent en pure perte du travail, mais encore peuvent amener

la détérioration du collecteur. Ce dernier, ainsi que l'armature, doit être facile à visiter et à remplacer.

En général, les dynamos fonctionnent à un débit inférieur à leur débit normal; les bobines ne s'échauffent pas sous l'action du courant, mais elles doivent pouvoir fournir au besoin 25 % en plus pendant plusieurs heures, et la température ne doit pas s'élever démesurément. Quelques bobines peuvent même être mises hors service accidentellement sans que le fonctionnement général en soit compromis. L'enroulement des bobines sur l'armature doit être très solide pour éviter toute déformation. On doit pouvoir éteindre plusieurs lampes sans danger pour les autres, tout au moins pendant le temps nécessaire au réglage.

Ces diverses conditions sont à peu près réalisées dans toutes les machines établies avec soin, bien que l'abaissement constant de leur prix de vente ait forcé les constructeurs à en négliger certaines parties importantes.

Au point de vue du montage, on doit rechercher la plus grande stabilité; la machine doit être posée sur glissières pour permettre la tension de la courroie de transmission. Ce n'est pas le cas des dynamos à faible vitesse, qui sont accouplées directement avec le moteur. Les faibles vitesses ont comme avantages de supprimer toute transmission intermédiaire; elles ne donnent pas de trépidations, mais par contre les machines sont plus volumineuses, et leur rendement est plus faible que celui des dynamos à grande vitesse. En Amérique, on emploie ces dernières; en Europe, au contraire, on donne la préférence aux faibles vitesses. Le choix est du reste souvent subordonné aux dimensions du local dont on dispose.

Pour l'éclairage, on emploie généralement des machines excitées en dérivation ou compound; les appareils d'utilisation sont alors montés en dérivation. La tension est relativement faible, et la condition importante à réaliser est de la maintenir constante aux bornes des lampes, quel que soit le débit. Comme il arrive que ce dernier peut prendre des valeurs bien différentes dans une journée, on emploie de préférence plusieurs dynamos groupées en quantité, et mises successivement en service suivant les besoins. La production se règle par la mise en marche ou l'arrêt successif des machines. Ces diverses dynamos doivent fonctionner à des vitesses très régulières.

Dans quelques cas particuliers, où toutes les lampes sont en service en même temps, et sont disposées les unes à la suite des autres, c'est-à-

dire en série, on emploie des dynamos à fort voltage excitées en série. Le nombre des machines à courants continus, construites uniquement dans ce but, est assez restreint. On dispose alors généralement une machine par circuit; la condition indispensable est d'avoir une intensité constante, quel que soit le voltage, c'est-à-dire quel que soit le nombre des appareils d'éclairage en service. On pourrait également avoir plusieurs dynamos à basse tension montées en série.

La constance du potentiel ou du débit est obtenue, le plus souvent, en agissant sur l'intensité du champ; il y a du reste une infinité de procédés pour exécuter ce réglage, qui peut se faire à la main ou automatiquement.

Quant au choix à faire entre les diverses machines, il est difficile de formuler des règles fixes à ce sujet. Les dynamos les plus répandues sont celles à tambour et à anneau, les machines à disque ayant contre elles leur rendement faible et leur déformation très facile. Le rendement des deux premières catégories est sensiblement le même, l'enroulement en tambour est plus facile à faire que celui en anneau, le bobinage pouvant s'exécuter mécaniquement; mais avec les hautes tensions le croisement des fils sur les faces du tambour peut amener des détériorations qui n'auraient pas lieu avec le bobinage en anneau.

Quoi qu'il en soit, les dynamos à courants continus ont été pendant fort longtemps les seules employées; leur conduite facile et sans danger explique cette faveur, qui commence à diminuer cependant, au profit des dynamos à courants alternatifs.

### 3° MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS

Ces machines, en général multipolaires, sont caractérisées par l'absence de commutateur. La théorie élémentaire est la même que celle de la dynamo à courants continus. Les courants induits sont dus au passage des spires des bobines dans les divers champs magnétiques; les changements de sens de la force électromotrice ont lieu au moment où le nombre de lignes de force coupées est maximum; comme il y a plusieurs champs, les changements, ou alternances, se produisent dans des périodes qui sont des fractions de la circonférence. Pour la même raison, il arrive qu'à chaque instant un certain nombre de bobines sont au même voltage; on peut les réunir en tension ou en

quantité. Un grand nombre de machines présentent des dispositifs spéciaux permettant ces deux groupements suivant les circonstances.

**Inducteurs.** — L'excitation au début était due à des aimants permanents, on leur a substitué dans la suite des électro-aimants. Le champ magnétique devant toujours avoir la même direction, il en résulte que le circuit d'excitation ne peut jamais être parcouru directement par le courant même de la machine. On a recours le plus souvent à une machine indépendante, quelquefois on dispose sur l'alternateur, un commutateur qui redresse une partie du courant pour l'envoyer dans les électros.

Les électros se font en fonte ou en fer, ils présentent une culasse, des épanouissements polaires et un noyau sur lequel est enroulé le fil d'excitation. Ils doivent satisfaire d'une manière générale aux mêmes conditions que ceux des machines à courants continus. Quant à leur forme, elle est appropriée à celle de l'induit.

**Induit.** — L'induit comporte une série de bobines placées par rapport aux pôles des électros, soit radialement à l'intérieur ou à l'extérieur des inducteurs, soit latéralement. Dans

le premier cas, on a l'induit *annulaire* ou *polaire*, dans l'autre, on a l'induit à *disque*. Quel que soit le système adopté, lorsqu'on a un nombre de bobines égal à celui des électros, il faut avoir soin pour leur groupement en tension, de changer le sens de l'enroulement d'une bobine à l'autre, car la direction des lignes de force varie dans deux champs voisins (fig. 104).

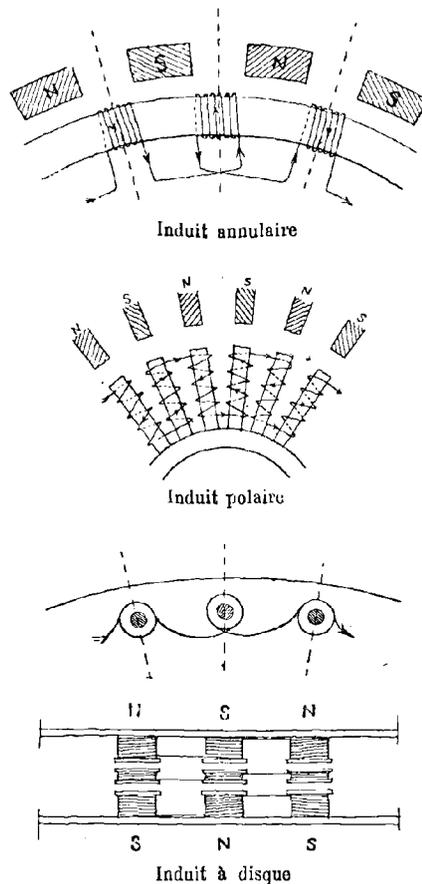


Fig. 104. — Diverses forme d'induits.

On peut conserver le même sens d'enroulement, mais à la condition que le nombre des pôles soit double de celui des bobines, la direction des lignes de force reste alors la même pour chacune d'elles.

Dans les armatures polaires ou annulaires, l'induit présente presque toujours une âme métallique; dans les armatures à disque, au contraire, elle est supprimée. Le noyau se fait souvent en fonte ou en lames de tôle; il est soumis aux mêmes observations que celui des dynamos à courants continus.

L'isolement du fil des bobines doit se faire avec beaucoup de soin; en effet, la plupart des alternateurs, devant fonctionner à des tensions élevées, le moindre défaut d'isolement amènerait la détérioration de la machine.

**Balais.** — Les extrémités de l'enroulement de l'induit sont reliées à deux bagues métalliques, montées l'une à côté de l'autre, sur l'arbre de la machine dont elles sont isolées avec soin: c'est sur ces bagues que viennent frotter les balais. Ils ont la même forme que précédemment, et sont disposés de la même façon; cependant quelquefois, ils affectent la forme de crochets entourant la bague, de manière à assurer un contact plus intime et à éviter la production d'étincelles toujours dangereuses avec des machines à fort voltage.

La suppression du collecteur a certainement un avantage considérable; on n'a plus à s'inquiéter de son entretien et de son remplacement fréquent; la position des balais n'a plus d'importance, et on n'a pas à y toucher pendant la marche de l'alternateur.

**Machine Méritens.** — Les premières machines d'induction étaient à courants alternatifs. L'abbé Nollet construisit (1850) le premier alternateur industriel devenu plus tard la machine de l'Alliance; enfin, M. Méritens, après quelques transformations, en fit une machine encore usitée actuellement. Elle est magnéto-électrique, avec induit annulaire.

**Inducteurs.** — Ils sont formés par 40 aimants en fer à cheval, disposés verticalement par groupes de 5, suivant une circonférence, ce qui donne 16 champs alternativement de nom contraire. Chaque aimant est constitué par neuf lames d'acier superposées. Dans d'autres ma-

chines de moindre importance, il n'y a qu'un seul groupe d'inducteurs, les aimants sont alors disposés horizontalement (fig. 105).

*Induit.* — C'est entre les champs formés par deux groupes d'inducteurs que tourne un nombre égal de bobines dont le noyau est formé par des pièces de tôle séparées électriquement. Les bobines en fil de cuivre et isolées avec du bitume de Judée, sont montées sur une couronne en bronze, elles sont facilement démontables. En général, les bobines d'un même anneau sont réunies en tension, et les cinq anneaux identiques sont groupés en quantité.

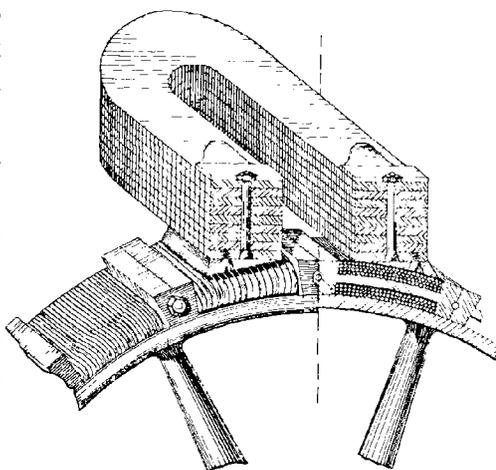


Fig. 105. — Machine Méritens à aimants horizontaux.

On peut modifier cette disposition au moyen d'un commutateur spécial.

Les machines de l'Alliance et de M. Méritens ont été employées, au début, à l'éclairage des phares; ces alternateurs n'avaient contre eux qu'un désavantage, leur prix élevé qui les a fait abandonner.

**Machine Gramme.** — Gramme a également construit une machine à courants alternatifs. Le mouvement relatif des bobines dans le champ est inverse des précédents : l'induit est fixe et l'inducteur mobile.

*Inducteur.* — Il a la forme polaire; c'est une sorte d'étoile dont les rayons sont implantés sur un noyau en fonte (fig. 106). Autour de ces rayons, constitués par des barreaux en fonte, est enroulé le fil excita-  
teur, de manière à présenter alternativement des pôles de nom contraire. Les extrémités de ce fil aboutissent à deux bagues distinctes, sur lesquelles frottent deux balais amenant le courant d'excitation. Ce courant est fourni par une dynamo Gramme à courants continus montée, pour plus de simplicité, sur l'arbre de l'alternateur (fig. 107). Les épanouissements polaires sont tournés concentriquement à l'induit, et rapprochés le plus possible de ce dernier.

*Induit.* — C'est un anneau fixe, bobiné comme dans la machine Gramme ordinaire. Le noyau est en fils de fer, isolés avec de la gomme

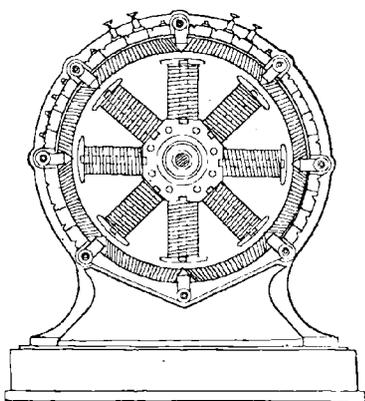


Fig. 106. — Machine Gramme.

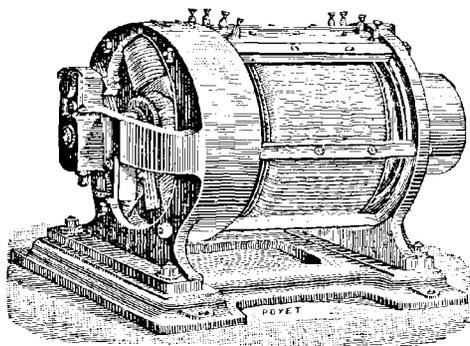


Fig. 107. — Machine Gramme avec son excitatrice

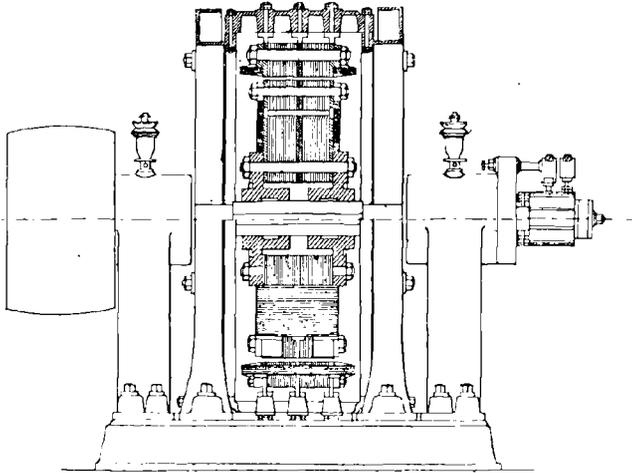
laque. Le nombre des bobines est un multiple du nombre des pôles; au moyen d'un commutateur à fiches, on peut les grouper en série ou en quantité.

Ces machines ont été employées au début pour l'éclairage de l'avenue de l'Opéra; on en rencontre encore de nombreux exemplaires, et en particulier au théâtre du Châtelet, pour l'alimentation des bougies Jablchkoff. Suivant la vitesse donnée à l'inducteur — de 860 à 1.400 tours — on peut augmenter le voltage et alimenter un nombre variable de bougies.

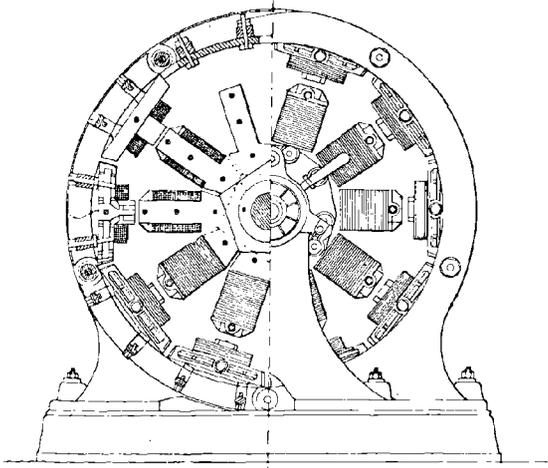
**Machine Zipernowski.** — Les machines précédentes, de puissance relativement faible, sont remplacées aujourd'hui par des alternateurs polaires bien plus importants, parmi lesquels il faut citer les machines Zipernowski, Déry et Blatty, construites en France par le Creusot

*Inducteurs.* — Ils sont mobiles comme précédemment: l'âme des bobines est constituée par une série de lames de tôle superposées et isolées les unes des autres. L'emploi de la tôle est très avantageux, car il permet de préparer les pièces à la cisaille. Les bobines enfilées sur les rayons sont maintenues contre le moyeu par des barres transversales qui les empêchent de se séparer sous l'action de la force centrifuge. L'excitation est obtenue au moyen d'une machine à courants continus indépendante (fig. 108).

*Induit.* — L'armature polaire a son noyau formé par une série de lames de tôle superposées et isolées les unes des autres. Elles sont réunies entre elles au moyen de deux plateaux en bronze. Cette dispo-



Élévation latérale.



Vue de face.

Fig. 108. — Machine Zipernowski.

sition a l'avantage de permettre le démontage d'une bobine et son remplacement rapide. Les bobines sont groupées en quantité ou en série.

Ces alternateurs d'une construction très simple sont assez employés

à l'éclairage. La station de Rome comporte deux alternateurs de 150 chevaux chacun et deux autres de 600 chevaux ; la tension dépasse 2.000 volts. En France, elles sont utilisées pour l'éclairage de la gare d'Orléans à Paris et du secteur des Champs-Élysées. Le rendement électrique atteint 90 0/0 y compris celui de l'excitatrice.

**Machine Siemens.** — Comme type d'alternateur à disque, il

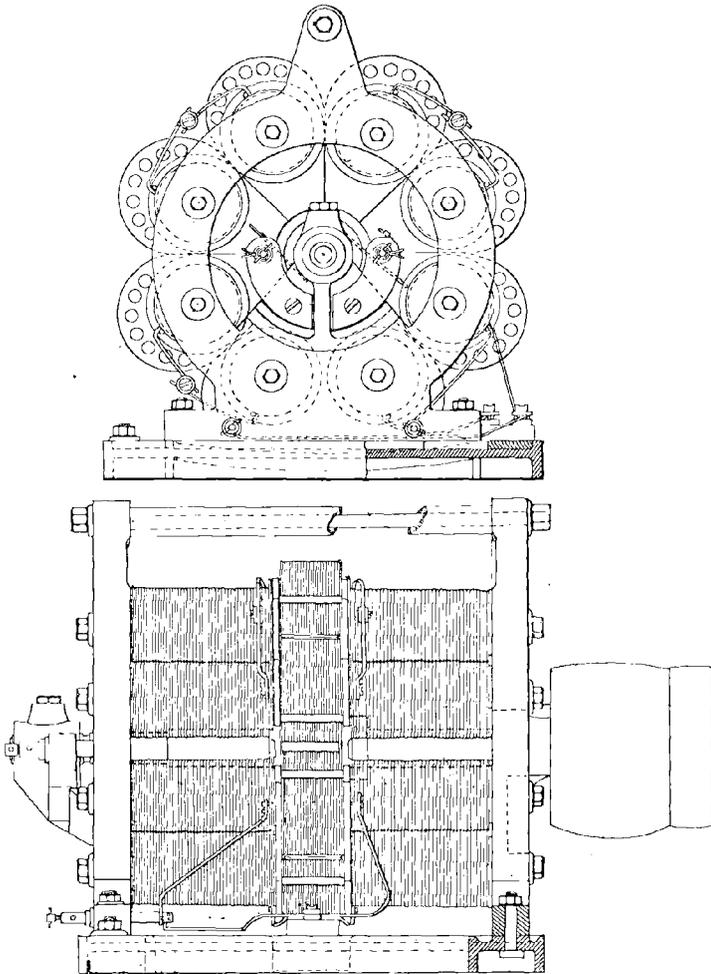


Fig. 109. — Machine Siemens.

convient de citer en premier lieu la machine Siemens, caractérisée par l'absence de noyau dans l'armature.

*Inducteur.* — Les bobines de l'inducteur sont disposées sur deux plateaux verticaux de manière à présenter des champs alternativement de nom contraire. Ils sont assez rapprochés l'un de l'autre, et c'est dans l'intervalle que se loge l'induit. L'excitation de ces machines est obtenue au moyen d'une dynamo indépendante.

*Induit.* — Grâce à la suppression du noyau en fer, on évite l'échauffement de l'induit. Le fil de chaque bobine est enroulé sur un noyau en bois; tous les noyaux sont maintenus entre deux plaques de maillechort perforées en vue de la ventilation. Il y a autant de bobines que de pôles. Elles sont groupées, soit en série, soit en quantité suivant que l'on veut obtenir un haut voltage ou une grande intensité (fig. 109).

Quelquefois on remplace le fil par des lames de cuivre isolées par des bandes de toiles caoutchoutées. L'induit est mobile et le courant est recueilli au moyen de deux bagues ordinaires.

**Machine Ferranti.** — Une machine basée sur le même principe est l'alternateur Ferranti, remarquable surtout par sa puissance élevée.

*Induit.* — L'induit à disque est caractérisé par l'absence de noyau en fer. Les bobines sont formées de bandes de cuivre superposées et parfaitement isolées les unes des autres par des plaques de fibre vulcanisée. Chaque bobine a la forme d'un fer à cheval dont les deux branches sont dirigées suivant un rayon de la circonférence. Ces bobines sont maintenues au moyen d'un boulon sur des étriers portés par un plateau isolé. Les bobines sont réunies entre elles en se servant des étriers pour établir le contact des bandes extérieures et d'une connexion spéciale pour les bandes intérieures (fig. 110).

Le collecteur situé à l'extrémité de l'armature est constitué par deux bagues recevant le courant par des conducteurs isolés dans le moyeu de l'armature. Deux frotteurs, en deux parties, appuient sur ces bagues; le contact est assuré au moyen de ressorts.

Le collecteur est enfermé dans une caisse qu'il est impossible d'ouvrir pendant le fonctionnement de la dynamo.

*Inducteurs.* — La faible épaisseur de l'induit permet de rapprocher les deux couronnes portant les électros qui fournissent le champ inducteur. Sur chaque couronne sont disposées des bobines en nombre double de celui de l'armature; le noyau de chaque bobine est venu de fonte

avec la couronne. D'un plateau à l'autre et sur chaque plateau les pôles sont alternés. L'excitation est obtenue au moyen d'une machine indépendante.

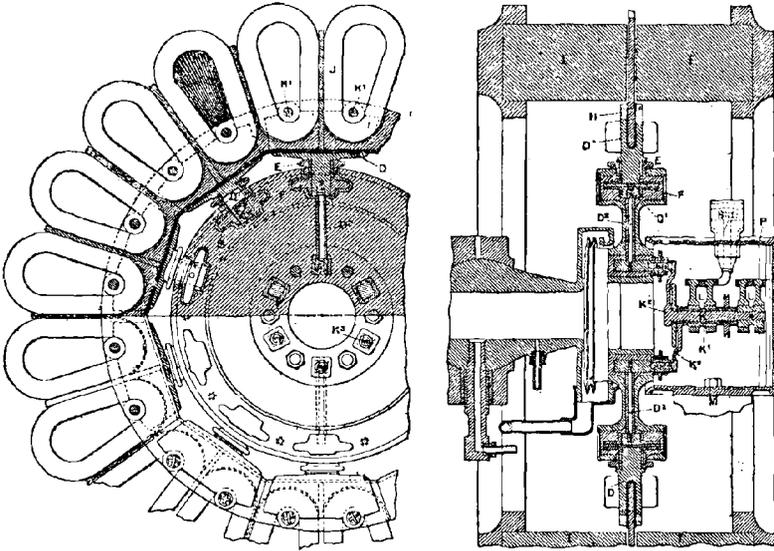


Fig. 110. — Machine Ferranti

J, inducteurs; J, bobines de l'induit maintenues sur les étriers D par les boulons H; —D, conducteurs amenant le courant aux balais L par l'intermédiaire des pièces K; —P, caisse contenant le collecteur.

Ces machines à voltage élevé ont de grands avantages ; elles sont très faciles à démonter et, par suite, à visiter. M. Ferranti a construit pour l'usine de Deptford, à Londres des machines de 10.000 chevaux sous une tension de 10.000 volts. En France, elles sont assez répandues, mais leur capacité est moins considérable. A l'usine des Halles, à Paris, on emploie des machines de 5.000 volts tournant à 600 tours par minute. Pour l'éclairage des villes du Havre, de Troyes, la tension n'est plus que de 1.400 volts avec une vitesse de 380 tours: Avec toutes les machines à disque on peut marcher, du reste, avec une faible vitesse, par suite de la facilité qu'on a de donner à l'induit un diamètre considérable.

**Choix des machines.** — Un grand nombre des conditions exigées pour les machines à courants continus sont applicables aux alternateurs. D'une manière générale, il est préférable de choisir des machines dont l'induit est fixe et l'inducteur mobile : les prises de courant sont plus

faciles à manœuvrer ; toutefois, le rendement est un peu moindre, par suite de la mise en mouvement des inducteurs, dont la masse est plus grande que celle de l'induit.

Les alternateurs les plus employés ont leur induit à disque ou polaire. Les premiers ne présentent pas d'âme dont l'échauffement diminue d'autant le rendement, mais par contre ils se déforment très facilement, ce qui constitue un inconvénient grave.

Au point de vue de la vitesse, les conclusions sont les mêmes que pour les machines à courants continus ; les faibles vitesses entraînent l'augmentation de la masse de la machine, par suite de l'obligation de donner aux inducteurs des dimensions plus importantes. Dans ces machines intervient une quantité qu'on ne rencontrait pas dans les dynamos à courants continus : c'est la fréquence ou nombre de fois que le courant change de sens dans l'unité de temps. Elle peut varier de 40 à 130 par seconde. Les basses fréquences permettent de donner à la machine une faible vitesse ; elles facilitent le groupement en quantité des alternateurs employés surtout dans les grandes installations ; elles diminuent en outre le sifflement des lampes à arc qui caractérise le courant alternatif ; mais elles ont le grave inconvénient d'augmenter les dimensions des transformateurs, et par suite leur prix de revient. Les alternateurs à grande vitesse et par suite à fréquences rapides, usités en Amérique, permettent cette réduction, toujours importante comme diminution du capital immobilisé.

Dans les alternateurs, on doit pouvoir en visiter facilement toutes les parties ; les différentes pièces étant symétriques doivent être interchangeable.

L'emploi des courants alternatifs remonte à 1883, date de l'apparition des transformateurs. Ils conviennent particulièrement pour les distributions à voltage élevé, et, à ce point de vue, ils sont moins dangereux que les courants continus employés dans les mêmes conditions. La surveillance est moindre, et les machines sont plus simples, puisqu'il n'y a pas de collecteur. Il est vrai que le groupement de ces machines entre elles présente quelques difficultés, qui expliquent en partie le petit nombre d'installations où elles sont employées.

---

## V. — Transformation de l'énergie électrique.

---

### 1° ACCUMULATEURS.

Lorsqu'au moyen de deux électrodes, on fait passer un courant dans de l'eau acidulée, cette eau est décomposée, et les éléments se portent séparément sur chacune des électrodes. C'est le phénomène ordinaire de toute action électrochimique. Mais, si l'on vient à faire cesser l'action du courant, et à réunir les deux électrodes par un conducteur, ce dernier est parcouru par un courant en sens inverse du premier ; il a des propriétés différentes. On lui donne le nom de *courant secondaire* et à l'appareil celui d'*élément secondaire*. Comme la fermeture du circuit des électrodes peut avoir lieu à un moment quelconque, on comprend qu'on puisse s'en servir comme d'une réserve d'électricité, d'où encore le nom d'*accumulateur* donné à cet appareil. Pour pouvoir emmagasiner de l'électricité en quantité suffisante, les électrodes doivent subir une certaine préparation, qui est la partie importante de leur fabrication.

**Accumulateur Planté.** — Gaston Planté, le premier, imagina d'utiliser les phénomènes précédents à la conservation de l'énergie. Après de nombreuses recherches, il arriva à construire un accumulateur susceptible d'en emmagasiner des quantités suffisantes. Voici en quoi consistait sa préparation :

Deux lames de plomb, enroulées en spirale, et isolées l'une de l'autre par des bandes de caoutchouc, sont placées dans un vase contenant de l'eau acidulée au dixième, et soumises à l'action du courant d'une pile. Les gaz de la décomposition se portent sur les deux lames, dont l'une est oxydée et l'autre réduite. On renverse plusieurs fois le courant de la pile ; après plusieurs heures, on coupe le circuit et on réunit les deux lames entre elles ; le courant secondaire obtenu donne une intensité suffisante pour rougir un fil de platine. On recommence le chargement en renversant le sens du courant primitif après chaque opération ; le secondaire obtenu donne des effets plus considérables, jusqu'à une

certaine limite, au delà de laquelle les secondaires ont toujours la même valeur et la même durée. A ce moment, l'élément est préparé; il devra toujours être chargé dans le même sens; une des lames est complètement oxydée: c'est la plaque positive; l'autre est formée de plomb réduit et grenu: c'est la plaque négative. On retrouve la même composition chimique dans tous les types d'accumulateurs à lames de plomb.

On a cherché à diminuer la durée de formation de ces plaques, qui se prolongeait plusieurs mois, en donnant au plomb une texture poreuse de manière à présenter une plus grande surface d'action au courant. On arrive à ce résultat, soit en plongeant les plaques dans un bain acidulé, soit en employant du plomb découpé ou strié.

**Accumulateur Faure.** — Un autre physicien, M. Faure, a imaginé pour réduire encore le temps de formation de déposer directement de l'oxyde de plomb sur les plaques, au lieu de partir du plomb lui-même. Dans ses premiers modèles, il se servait de deux lames minces recouvertes intérieurement de deux couches de minium maintenues par une étoffe de laine. Les lames étaient enroulées ensuite en spirale pour être soumises à l'action du courant primaire. Sous l'action de ce dernier, la lame positive se peroxyde, le minium n'étant pas le maximum d'oxydation du plomb, et l'autre plaque au contraire est réduite en donnant du plomb poreux.

Cet élément présentait un inconvénient grave; au bout de très peu de temps, la laine se désagrégait, et le minium n'étant plus maintenu se séparait des plaques.

On y remédie en employant actuellement une grille formée par un alliage de plomb et d'antimoine, dont les vides sont remplis par des pastilles d'oxyde de plomb. La mise en place de ces pastilles et la formation des plaques constituent un travail spécial. Le reste de la préparation se fait comme précédemment.

En résumé, il y a deux procédés de fabrication des accumulateurs à lames de plomb, soit qu'on parte du plomb même, — procédé Planté — ou de l'oxyde de plomb, — procédé Faure.

Quel que soit le mode de formation, les plaques sont disposées dans des bacs contenant de l'eau additionnée d'acide sulfurique. Un bac renferme un certain nombre de plaques positives et négatives isolées les unes des autres, toutes les positives sont réunies entre elles, de même

pour les négatives. L'ensemble de ces plaques disposées dans le même récipient constitue un *élément*. Plusieurs éléments réunis en tension forment une *batterie*.

Les accumulateurs ont beaucoup d'analogie avec les piles surtout au point de vue des dimensions électriques.

La force électromotrice d'un élément ne dépasse guère 2,20, leur intensité dépend du volume des électrodes et par suite de leur poids, enfin leur résistance est très faible. Toutefois, l'accumulateur étant soumis à deux marches bien différentes, charge et décharge, ces valeurs subissent des variations assez importantes d'une opération à l'autre.

**Charge.** — Tout accumulateur qui a dépensé son énergie, doit être rechargé, mais comme il n'est jamais vidé complètement, la première des conditions est que la force électromotrice de l'appareil de charge soit supérieure à celui des accumulateurs. Il est même nécessaire d'installer des appareils désignés sous le nom de disjoncteur qui permettent la rupture du circuit de manière à empêcher la batterie de se décharger dans les appareils de charge. Le plus souvent on emploie des machines qui doivent être forcément des dynamos à courants continus. On envoie de l'énergie jusqu'à ce que l'accumulateur atteigne un voltage de 2.4 environ. Cette énergie peut être emmagasinée, ou lentement ou rapidement, mais on est forcé de s'en tenir à une allure déterminée, et on s'arrange généralement à avoir un débit de 4 ampère par kilogramme de plomb ; un régime supérieur amènerait rapidement la destruction des éléments, il en résulte que la durée de charge n'est pas arbitraire. Outre les mesures directes du voltage, la fin de la charge est indiquée par le dégagement abondant des gaz, qui donne au liquide une apparence laiteuse, les plaques positives ont une teinte brunc et les négatives sont d'une nuance grise ardoisée.

La charge peut se faire à débit, à voltage ou énergie constants. Dans le premier cas, la machine doit fournir un courant toujours le même, à raison de 4 ampère par kilogramme de plomb, la force électromotrice très faible au début, va sans cesse en augmentant jusqu'à ce que la batterie ait atteint le voltage demandé.

A voltage constant, c'est le débit qui suit la même marche que précédemment le voltage. La machine est à un potentiel qui est celui de la fin de la charge. On intercale, dans le circuit des accumulateurs, une certaine longueur de conducteurs ou résistances auxiliaires, et

mieux encore un certain nombre d'éléments que l'on supprime au fur et à mesure de la charge. Ce mode de procédé diminue de beaucoup le temps de charge, qui peut devenir la moitié du précédent.

A énergie constante, le voltage et l'intensité varient en raison inverse l'un de l'autre, de manière à ce que leur produit soit constant, on arrive à ce résultat en faisant varier le nombre des éléments en charge. L'avantage de cette méthode est d'augmenter le rendement. Suivant le cas, on devra choisir entre les deux derniers procédés qui sont les plus avantageux.

**Décharge.** — Lorsque la batterie a atteint son voltage définitif, la charge est terminée et pour s'en servir il suffira de fermer le circuit sur les appareils d'utilisation.

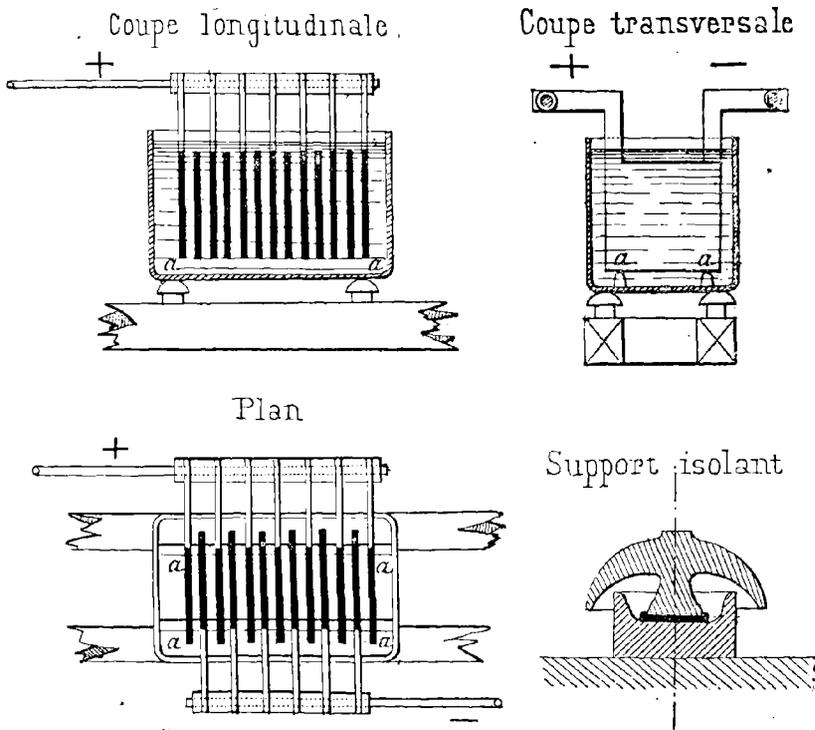


Fig. 111. — Montage des accumulateurs.

Dans ce cas encore, l'opération ne se fait pas d'une façon arbitraire pour la bonne conservation des appareils. On dépasse rarement 1 ampère par kilogramme de plomb. Au début de la décharge, la force élec-

tromotrice est de 2.2 mais elle baisse rapidement, il en résulte que pour conserver le même voltage dans le circuit extérieur, il faut ajouter à chaque instant de nouveaux éléments. On arrête généralement la décharge lorsque les éléments ont atteint un voltage de 1,8. Toute l'énergie n'est pas absorbée, il en reste encore dans l'élément, formant comme une sorte de réserve permanente.

Il est bien évident, que le débit d'un accumulateur est limité, et qu'il dépend de la quantité d'électricité qu'il renferme. A raison de 1 ampère par kilogramme de plomb, la décharge dure en moyenne de 8 à 12 heures, suivant la valeur de l'élément. Avec un débit 3 fois plus grand, la durée serait 3 fois moindre. La quantité d'électricité contenue dans un élément par kilogramme de plomb constitue sa *capacité*.

Cette capacité est *totale* ou *utile*, suivant que l'on considère la décharge complète ou partielle. La capacité utile est de 8 à 12 ampères heures par kilogramme de plomb ; cette quantité a une très grande importance, car elle permet de déterminer le nombre d'éléments nécessaires à un débit de durée connue.

L'énergie électrique fournie à la charge n'est pas rendue intégralement à la décharge, les accumulateurs ne constituent pas de simples réservoirs comme les gazomètres, mais bien des appareils de transformation. Le rendement, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie électrique restituée à la décharge, et celle fournie à la charge, ne dépasse guère 0,75 et encore ne tarde-t-il pas à baisser avec le temps.

**Applications.** — La présence d'un liquide fait de l'accumulateur un appareil assez délicat, les plaques rangées dans un bac doivent être aussi rapprochées que possible, mais sans gêner la circulation du liquide. L'écartement des plaques est maintenu au moyen de boulons, et leur isolement, au moyen de lames en caoutchouc. Les réservoirs sont en verre, en ébonite ou en bois doublé de plomb. Le verre est très étanche, et permet en outre de voir au travers, mais il est très fragile ; l'ébonite est d'un prix trop élevé et le bois doublé de plomb ne donne qu'un isolement imparfait. Quel que soit le mode de construction, on a toujours des pertes, c'est-à-dire que les accumulateurs se déchargent lentement. On remédie à cet inconvénient, en installant les bacs sur des pieds en verre ou en grès (fig. 111). Une autre cause de pertes est l'attaque par l'acide des bornes de prise de courant, ou des conducteurs réunissant les plaques de même série.

L'oxydation donne alors des sels qui tombent dans le bac et établissent des contacts entre les plaques ; il est nécessaire de les visiter de temps à autre. Le local qui renferme les accumulateurs doit être ventilé avec soin, car le liquide du bac étant décomposé donne naissance à des gaz dont le mélange est explosif.

Les accumulateurs sont employés comme réservoirs d'électricité ou comme régulateurs de courant.

Ils sont très utiles toutes les fois que la production ne répond pas à la consommation. Dans bien des cas, cette dernière est assez faible pour ne pas nécessiter la mise en marche de la machine. D'autres fois au contraire, on profite pour charger les accumulateurs d'un excédent de force dont on dispose à certains moments. Ils servent également comme appareils de sûreté en cas d'accident, ou de secours pour les instants où les machines dynamos ne peuvent pas fournir du courant en quantité suffisante ; pendant le jour, on a chargé les accumulateurs que l'on ajoute aux machines le soir. Cette disposition est d'autant plus avantageuse, que l'on peut faire marcher les machines plus longtemps et charger les accumulateurs avec un courant bien inférieur à celui qu'ils pourront débiter au moment opportun.

Comme régulateurs de courant, on les intercale entre les machines et les appareils d'éclairage, ils absorbent l'excédent que les dynamos peuvent donner, quitte à le rendre dans les instants où elles seraient trop faibles. De plus, la lumière obtenue est plus fixe, et les lampes fonctionnant toujours dans les mêmes conditions durent plus longtemps.

Enfin, ils sont très usités dans le cas des éclairages portatifs. On ne peut reprocher à l'accumulateur que son faible rendement et son volume considérable par rapport à l'énergie emmagasinée.

## 2° TRANSFORMATEURS

Les transformateurs sont basés sur les phénomènes d'induction. Tout transformateur comporte deux circuits voisins, l'un d'eux est parcouru par un courant qui donne naissance à un champ magnétique, dont les lignes de force coupent le deuxième circuit. Si l'on envoie par intermittence ce courant, le nombre de lignes de forces changera à chaque instant et cette variation dans le nombre de lignes coupées donnera

naissance à un courant induit dans le deuxième conducteur. Elle équivaut au déplacement de l'induit dans le champ. Au lieu d'envoyer le courant inducteur par intermittence, on emploie de préférence un courant alternatif dont le champ change de direction et d'intensité à chaque instant. Le circuit inducteur est désigné sous le nom de *circuit primaire* et le circuit induit, sous celui de *circuit secondaire*.

Le courant induit dépend absolument des dimensions du conducteur, on conçoit donc aisément qu'en faisant varier ces dimensions, on puisse obtenir des courants induits à haute ou basse tension, du reste le rapport des forces électromotrices du secondaire et du primaire est égal au rapport des nombres de spires des circuits.

Cette transformation de l'énergie électrique ne se fait pas sans une certaine perte, mais elle est assez faible, car le rendement, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie restituée par le secondaire et celle fournie par le primaire, atteint 98 pour 100, lorsqu'on marche à pleine charge.

Le champ magnétique est renforcé par la présence d'un noyau de fer doux autour duquel sont enroulés les deux circuits. Il peut être fermé sur lui-même ou ouvert, le circuit magnétique étant complété dans ce cas par l'air ambiant.

Sous l'action des alternances du courant, ce noyau s'échauffe et absorbe une certaine quantité d'énergie. Dans le cas d'un noyau fermé, le champ magnétique étant plus intense, le rendement est très élevé, mais à mesure que la charge diminue, l'échauffement restant sensiblement le même, le rendement baisse rapidement. Au contraire, avec un noyau ouvert, les lignes de force étant moins concentrées, le rendement du début est plus faible, 94 pour 100, mais par suite du refroidissement plus facile du noyau ce rendement descend moins vite.

Le mieux serait d'avoir un noyau fermé pour la pleine charge et ouvert pour les charges partielles.

**Bobine Ruhmkorff.** -- Le premier transformateur a été la bobine de Ruhmkorff, formée par deux circuits enroulés autour d'un barreau de fer doux. Le circuit primaire à fil gros et court, reçoit par intermittence le courant continu d'une pile, cette intermittence est produite au moyen d'un interrupteur de courant automatique. Le circuit secondaire est à fil long et fin, il en résulte que la force électromotrice de l'induit est beaucoup plus élevée que celle de l'inducteur. Cette bobine est surtout employée dans les laboratoires.

**Transformateur Gaulard.** — Le premier transformateur industriel est dû à Gaulard. — Exposition de Turin 1884. — L'appareil de Gaulard est formé par une série de rondelles annulaires en cuivre superposées et enroulées sur un tube en fibre vulcanisée dans lequel se trouve un noyau rectiligne formé par un faisceau de fils de fer isolés les uns des autres par une couche de vernis. Les différentes rondelles du circuit primaire sont réunies entre elles de manière à former une sorte de spirale continue, le circuit secondaire est dans les mêmes conditions, sauf qu'il est divisé en plusieurs sections qu'on peut grouper en série ou en quantité. Les rondelles sont séparées les unes des autres par une feuille de papier verni à la gomme laque.

Le circuit primaire étant alimenté par une dynamo à courants alternatifs, on modifie la valeur du champ en déplaçant le noyau de fer doux dans l'intérieur du tube en fibre vulcanisée.

Dans le transformateur de la Compagnie de l'Éclairage électrique, dont l'aspect extérieur rappelle le précédent (fig. 112), les deux circuits sont formés par des plaques de tôle rectangulaires superposées, et le noyau de fer doux donne un champ magnétique fermé.

Depuis l'apparition du transformateur de Gaulard, le nombre de ces appareils s'est accru dans des proportions considérables et actuellement à peu près à chaque alternateur correspond un transformateur.

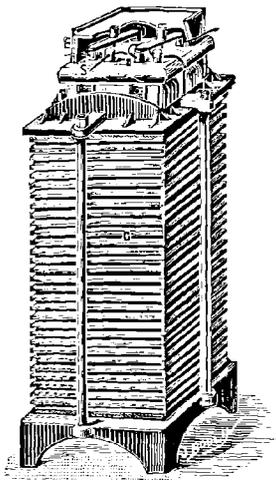


Fig. 112. — Transformateur de la Compagnie de l'Éclairage électrique.

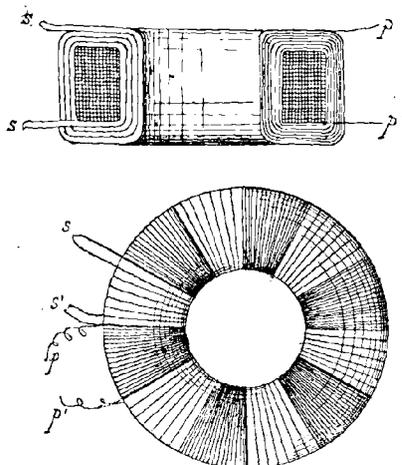


Fig. 113. — Transformateur Zipernowski

**Transformateur Zipernowski.** — Il convient de citer le transformateur Zipernowski, employé à la distribution du courant alter-

natif dans la ville de Rome, le courant primaire arrive avec 2.000 volts de tension et un débit de 4 ampères, il en sort à 110 volts avec un débit de 75 ampères, soit une puissance de 8 kilowatts.

Les premiers transformateurs Zipernowski étaient formés par deux circuits enroulés autour d'un noyau circulaire qui avait le grand avantage de concentrer les lignes de force en réduisant la résistance magnétique du circuit. Ce noyau était formé par du fil de fer vernissé. Les deux circuits en cuivre s'enroulaient au-dessus ; le tout était enfermé dans une boîte en fonte munie à l'extérieur de bornes pour les prises du courant (fig. 113).

Dans le modèle récent, le noyau est formé par des disques annulaires en tôle isolés et assemblés par des boulons. Les bobines en cuivre séparées les unes des autres par du papier vernissé, sont enroulées entre ces boulons. Deux disques de fonte maintiennent le tout et servent à faire rouler l'appareil, lorsqu'on le déplace. Les bornes se trouvent au-dessus sur un disque en porcelaine.

**Transformateur Westinghouse.** — Les plaques de tôle ont sur les fils de fer l'avantage de coûter meilleur marché et leur isolement est très facile à obtenir au moyen de papier vernissé. On trouve cette facilité de construction dans les transformateurs Westinghouse. Les feuilles de l'âme découpées à la cisaille ont la forme d'un O barré, présentant ainsi deux vides dans lesquels viennent se placer les deux circuits primaire et secondaire accolés. On construit d'abord les deux bobines et on introduit ensuite les pièces de tôles qui sont découpées en conséquence (fig. 114). Lorsqu'elles sont en place, on maintient l'ensemble

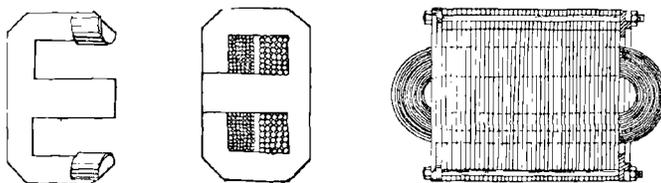


Fig. 114. — Transformateur *Westinghouse*.

au moyen de deux plaques de fonte serrées par quatre boulons extérieurs. Les joints que présentent les feuilles de tôle pour le passage des bobines sont alternés. L'ensemble est enfermé dans une boîte en fonte. Ce transformateur, très employé en Amérique, correspond à l'alternateur

Westinghouse à haute fréquence, son volume est donc très restreint. On place les boîtes sur des poteaux verticaux à l'abri de tout contact.

**Transformateur Ferranti.** — M. Ferranti a imaginé un transformateur formé par une série de bobines du primaire et du secondaire juxtaposés (fig. 115). Elles ont la forme circulaire et, dans le vide qu'elles présentent, on glisse les tôles de l'âme du transformateur qui sont repliées une moitié en dessus, l'autre en dessous, de manière à former un circuit magnétique fermé entourant entièrement les bobines. Tout l'ensemble est maintenu par une enveloppe en fonte parfaitement isolée. Les transformateurs de ce type les plus employés sont ceux de 2, 3, 5 et 7,5 kilowatts. Ils correspondent aux machines Ferranti à courants alternatifs.

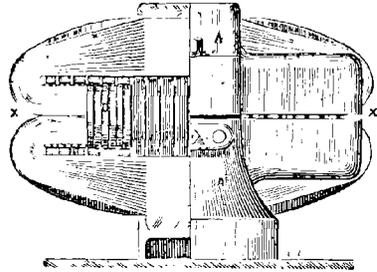


Fig. 115. — Transformateur Ferranti.

**Applications.** — On emploie les transformateurs toutes les fois qu'il s'agit de réduire la tension élevée fournie par les alternateurs, c'est-à-dire dans toutes les distributions à courants alternatifs. Il n'est pas possible, en effet, de laisser aux particuliers le soin de manœuvrer des appareils à haute tension. La réduction généralement admise est dans le rapport de 1 à 20. Les transformateurs ont de grands avantages, leur rendement est assez élevé, il atteint 96 0/0 à charge totale et 90 0/0 lorsqu'elle descend au quart. D'un entretien insignifiant, ils nécessitent seulement quelques précautions dans leur installation, l'isolement doit être fait avec soin de manière à prévenir tout accident.

Quant au choix à faire entre les divers types de transformateurs, il est basé le plus souvent sur celui de l'alternateur. En effet, à chaque machine à courants alternatifs correspond un transformateur. Ces appareils se placent dans des endroits isolés ; le circuit à haute tension, présentant quelque danger, doit être muni d'appareils de secours, le coupant automatiquement lorsque l'enroulement est compromis.

## VI. — Distribution du courant électrique.

### 1° CANALISATION

Les générateurs sont réunis aux appareils d'éclairage par deux conducteurs métalliques en cuivre. L'ensemble forme un circuit fermé; un des conducteurs est considéré comme fil d'aller, et le deuxième comme fil de retour. Les conduites de distribution du courant doivent toujours être isolés du sol, bon conducteur de l'électricité; on les entoure d'une substance isolante, ou on les supporte sur des corps mauvais conducteurs. La canalisation s'établit *aérienne* ou *souterraine*.

**Canalisation aérienne.** — Le câble métallique nu est soutenu, de distance en distance, par des poteaux en bois ou en fer, sur lesquels il repose par l'intermédiaire d'isolateurs en porcelaine ou en verre.

Les poteaux sont en bois de sapin ou de mélèze, injectés le plus souvent d'une substance antiseptique comme la créosote ou le sulfate de cuivre. On les remplace quelquefois par des poteaux en fer d'une durée plus considérable, mais d'un prix plus élevé.

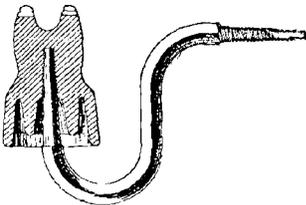


Fig. 116. — Isolateur à double cloche

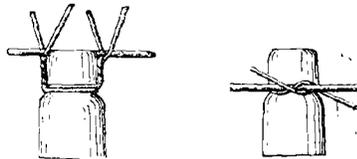


Fig. 117. — Modes d'attache des fils sur les cloches.

Les isolateurs destinés à supporter les conducteurs ont le plus souvent la forme d'une cloche simple ou double (fig. 116). Ils sont en porcelaine émaillée, résistant très bien à la pluie. On les fixe sur les poteaux au moyen d'une tige en fer recourbée scellée dans la cloche et vissée sur le poteau. Le conducteur est attaché sur la cloche au moyen d'un fil de fer (fig. 117). Lorsqu'il s'agit de distribution à haut potentiel, les iso-

lateurs sont enfermés dans des réservoirs contenant des substances mauvaises conductrices comme de la paraffine ou des huiles minérales.

Les conducteurs aériens conviennent surtout dans la campagne. Dans les villes, leur installation présente quelques difficultés, les poteaux formant obstacles doivent être placés sur la toiture des maisons. Ce système est assez employé en Amérique, mais dans les capitales d'Europe, où l'esthétique a une grande importance, ils sont exclus d'une façon absolue et remplacés par des canalisations souterraines.

**Canalisations souterraines.** — Dans ce cas, on profite de toutes les constructions antérieures comme celles des égouts, par exemple, mais comme dans ces dernières années les installations électriques ont acquis un grand développement, on a dû établir des conduites spéciales pour les recevoir.

Les caniveaux sont alors de dimensions réduites, et placés à une faible profondeur le long des trottoirs, ils sont formés par une sorte de dallage en ciment. Dans le radier du caniveau, on fixe des isoloirs verticaux à cloche recevant les câbles nus (fig. 118). Ces derniers sont constitués par des bandes de cuivre superposées, comme dans le système Crompton, ou par des fils tressés. La première disposition a comme avantage de faciliter l'addition de nouvelles bandes pour augmenter la section du câble.

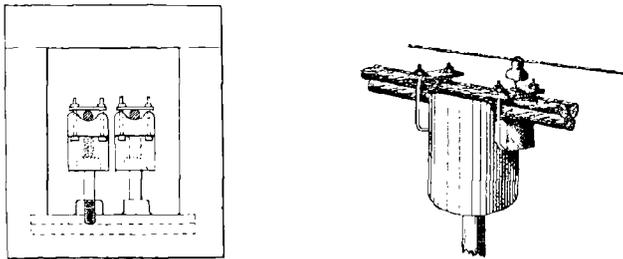


Fig. 118.— Caniveau avec câbles nus sur isolateurs.

Quelquefois, les caniveaux en ciment sont remplacés par des conduites en grès. De distance en distance, on ménage des regards pour la visite de la conduite et sa ventilation. Au passage des rues ou des carrefours, les caniveaux sont remplacés par de véritables galeries, de manière à pouvoir faire les réparations sans bouleverser la surface du sol.

L'installation des caniveaux est assez onéreuse et demande beaucoup de soin; aussi préfère-t-on souvent employer des tuyaux en fonte ou en

fer, identiques à ceux du gaz, et ayant sur ceux-ci la supériorité d'exiger des joints moins parfaits. Mais alors surgit une autre difficulté : il faut isoler les câbles du contact des parois du tuyau. On peut les supporter par des disques en verre, percés de trous, pour le passage des câbles : l'intervalle est ensuite rempli d'une substance isolante, comme du bitume par exemple (système Delany).



Fig. 119. — Distribution par tuyaux (Système Edison).

de courber le tuyau sans modifier la distance relative des câbles. Au lieu de disques en verre, on peut en employer en carton, ou mieux encore entourer chaque câble d'une corde enroulée en spirales (système Edison) fig. 119 ; l'intervalle est ensuite rempli d'un isolant coulé à chaud.

Souvent, on ne veut pas faire la dépense d'une canalisation ou d'une tuyauterie spéciale, et on place directement le câble dans le sol. Dans ce cas, il doit être isolé avec beaucoup de soin, et entouré d'enveloppes protectrices qui le mettent à l'abri des accidents. On dit alors qu'il est armé. Ces câbles ont une très grande longueur, ce qui diminue le nombre des joints ; de plus, ils sont très flexibles. C'est le système employé pour la distribution du courant aux lampes placées dans les habitations.

Lorsqu'il s'agit de ces dernières, le fil conducteur, de faible diamètre, est entouré d'une enveloppe isolante en gutta-percha ou en caoutchouc vulcanisé. D'autres fois, pour simplifier l'isolement, le fil d'aller et celui de retour séparés sont enveloppés dans la même couche d'isolant. Ces câbles de distribution intérieure sont placés dans de petits caniveaux en bois ou moulure cloués le long de la muraille (fig. 120).

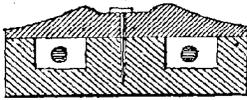


Fig. 120. — Pose des câbles sous bois.

La construction des câbles armés a atteint une importance considérable, et constitue toute une industrie spéciale. Il en existe, du reste, plusieurs systèmes, dans lesquels le gutta-percha et le caoutchouc ont été remplacés par d'autres substances d'un prix moins élevé (fig. 121).

Dans le câble *Berthoud-Borel*, l'âme est formée par le conducteur en cuivre. On le recouvre de plusieurs couches de coton, et l'ensemble est plongé dans un bain contenant la substance isolante. Au point de vue électrique, l'isolement est obtenu, mais, comme cette couche ne tarderait pas à se déchirer, il faut l'entourer d'une enveloppe résistante qui,

dans le cas, est du plomb déposé à l'état liquide. L'opération du recouvrement en plomb est répétée plusieurs fois, en ayant soin d'intercaler chaque fois une couche de résine ou de substances bitumineuses. L'isolement de ces câbles dépend absolument de l'imperméabilité du plomb.

Dans les câbles *Siemens* et *Halske*, le procédé est le même, sauf le recouvrement extérieur, qui est formé par deux hélices en fer à spires superposées.

Il arrive souvent, et en particulier pour les courants alternatifs, que les deux fils de l'aller et de retour sont enfermés dans une seule armature. L'âme est constituée par un conducteur en cuivre, considéré comme le câble d'aller; un isolant le sépare du câble de retour, qui à son tour est isolé avec soin; enfin, une armature métallique extérieure protège le tout contre les chocs. L'influence des conducteurs sur les fils voisins se trouve ainsi annulée. Mais, avec cette disposition, les dérangements sont plus fréquents et les branchements plus difficiles. Les câbles armés doivent être construits avec beaucoup de soin, sans cela leur durée devient trop courte.

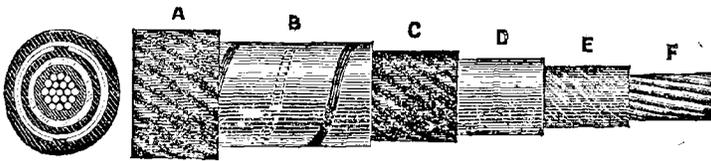


Fig. 121. — Câble armé.

A, Jute goudronnée. — B, Armature en acier. — C, Jute goudronnée. — D, Enveloppe en plomb.  
E, Isolant. — F, Âme en cuivre.

Les canalisations souterraines sont moins avantageuses que les canalisations aériennes : les pertes sont plus difficiles à trouver; mais les risques d'accident, provenant de contact avec les corps voisins, sont sensiblement les mêmes.

**Joints.** — La longueur des câbles se trouve forcément limitée et il faut réunir entre elles les différentes sections. La jonction doit être faite avec le plus grand soin pour assurer à la fois la solidité de la ligne et la continuité du courant électrique.

Lorsqu'il s'agit de fils de faible section, le joint est assez commode à établir, on fait généralement une double torsade. Il est facile du reste d'imaginer d'autres combinaisons.

Lorsque la section augmente, on peut recourir à une sorte de manchon, à l'intérieur duquel on fait passer les bouts de fil à relier, ils sont

ensuite recourbés à leur extrémité et s'engagent dans une encoche ménagée sur le manchon (fig. 122). La liaison est rendue intime par de

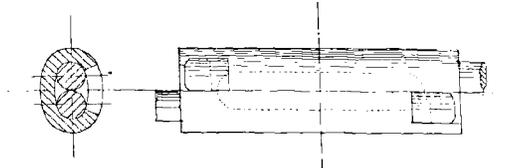


Fig. 122. — Manchon d'attache pour câble nu.

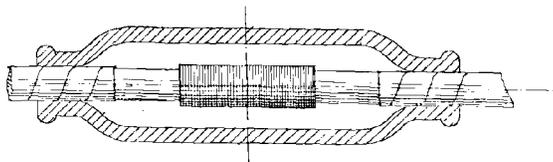


Fig. 123. — Boîte de jonction pour câble armé.

la soudure. Ces divers procédés sont employés pour les lignes aériennes ; le joint doit être très solide pour résister à la traction du fil qui se courbe entre deux poteaux.

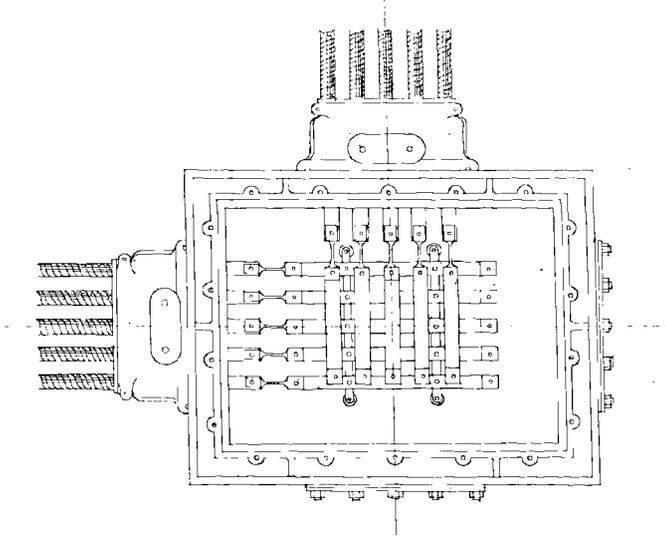


Fig. 124. — Boîte de jonction (Distribution à cinq fils).

Dans les canalisations souterraines on n'a pas à craindre l'inconvénient d'une tension exagérée. Quel que soit le système employé les joints sont établis dans des boîtes spéciales. Les extrémités des fils sont

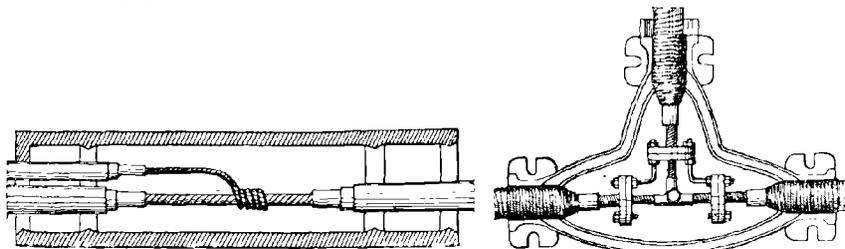
décapées avec soin avant d'être réunies, la liaison est assurée le plus souvent au moyen d'un fil fin; de la soudure achève de rendre le contact intime (fig. 123).

Le décapage du fil doit être fait en employant de la résine ou de la paraffine à l'exclusion des acides.

Quelquefois, le serrage des bouts de fil entre eux est obtenu au moyen d'un manchon spécial en deux parties serrées par plusieurs boulons. Lorsque les câbles sont armés, ils sont dénudés à l'intérieur de la boîte, leur introduction doit être rendue très étanche pour éviter toute rentrée d'air ou d'humidité (fig. 124).

**Branchements.** — Les branchements ne présentent pas plus de difficulté que les jonctions. Il faut avoir seulement soin d'établir un contact intime entre les différents conducteurs pour ne pas augmenter la résistance de la dérivation.

On emploie également des boîtes spéciales à un ou plusieurs branchements (fig. 125).



Boîte de jonction et branchement  
pour câble armé.

Pièce à té pour branchement  
Siemens (Système Berthoud-Borel).

Fig. 125. — Branchements.

L'introduction de l'électricité dans les habitations se fait de la même façon que pour le gaz. Un coffret placé à l'extérieur reçoit un interrupteur de courant. La Compagnie possède seule la clef du coffret et peut arrêter le courant. Quelquefois, au lieu d'un interrupteur, on dispose des fils de sûreté, ou plombs fusibles, qu'il est facile de poser ou bien d'enlever.

A la sortie du coffret, l'un des câbles est amené au compteur et se rend ensuite dans les divers locaux à éclairer. On groupe en un endroit spécial sur un petit tableau les divers commutateurs d'allumage. Les câbles employés ensuite dans l'intérieur, sont placés avec leurs caniveaux en bois le long des encoignures.

**Dimensions des câbles. Haute et basse tension.** — Toutes les fois qu'un conducteur est parcouru par un courant, il s'échauffe. La quantité de chaleur dégagée est proportionnelle à la résistance du conducteur, et au carré de l'intensité du courant. Elle peut dans certaines conditions, et en particulier lorsque la résistance est trop grande, devenir suffisante pour fondre le conducteur. C'est même sur ce principe, que sont établis les appareils de sûreté, comme les plombs fusibles, dans lesquels le métal fond lorsque l'intensité du courant dépasse une certaine valeur.

La section du conducteur dépend surtout de son mode d'emploi. Il est certain qu'un conducteur dénudé et aérien résistera mieux qu'un fil isolé enfermé dans un caniveau. Dans ces conditions il faudra donner au second une section plus importante pour éviter tout échauffement exagéré.

Ce développement de chaleur peut amener non seulement la rupture du conducteur, mais il constitue encore une perte importante, qu'il y a intérêt à réduire autant que possible. Sa valeur étant égale au produit de deux quantités, la résistance et l'intensité, on peut la diminuer en agissant sur l'un ou l'autre de ces facteurs.

On diminue la résistance d'un conducteur, qui est proportionnelle à la longueur et en raison inverse de la section, en augmentant cette dernière, car la longueur est une quantité absolument déterminée; mais cette solution très simple n'est pas très pratique; les conducteurs en cuivre coûtent fort cher, et, pour une longueur déterminée, le poids est proportionnel à la section. Aussi préfère-t-on conserver la perte dans la ligne, et ne pas augmenter les frais de premier établissement. Il y a une limite mathématique à laquelle correspond le minimum des frais d'exploitation et de dépenses de premier établissement. Voici les sections les plus employées pour un débit déterminé :

Fil nu à l'air . . . . .	6 ampères par mm <sup>2</sup>
Fil nu dans un local fermé . . . . .	4 —
Fil isolé au caoutchouc. . . . .	2.5 —
Fil à isolement considérable . . . . .	1.5 à 1 —

Si, au contraire, on agit sur le deuxième facteur, c'est-à-dire sur l'intensité, les conséquences sont tout à fait différentes. Le nombre d'ampères étant très faible, le conducteur a alors des dimensions très réduites, et on peut diminuer à la fois les dépenses d'établissement et les pertes en

ligne. Mais, si on se reporte à la définition de la puissance, qui est égale au produit de l'intensité par le voltage, on voit qu'avec une faible intensité il faut augmenter d'autant la force électromotrice. Dans ce cas, la distribution est dite à *haute tension*, par opposition à la précédente, ou *basse tension*.

Il est très difficile de fixer exactement les limites de ces deux tensions, puisqu'en réalité il y a gradation continue. On admet jusqu'à 440 volts pour la basse tension. La haute tension est illimitée, mais, la plus employée pour l'éclairage électrique, varie de 2 à 3.000 volts.

L'adoption d'une distribution à haut potentiel est la plus avantageuse, puisqu'elle réduit à la fois les pertes en ligne et les frais d'installation; elle est même forcée, lorsque la distance atteint une certaine longueur, voisine de 4 à 5 kilomètres; mais elle nécessite des dispositions spéciales. Quelle que soit la nature du courant, les appareils d'éclairage, ayant un voltage peu élevé, doivent être montés en série, si l'on ne veut pas être obligé de recourir à des appareils de transformation. Ce dernier cas est le plus souvent employé, car les appareils montés en série doivent tous fonctionner en même temps.

Au début, la distribution à basse tension a été la seule usitée, la crainte d'accident faisant exclure dans les villes le second système. Mais depuis quelques années les installations ayant pris des dimensions assez importantes, la haute tension est revenue en faveur, et un grand nombre de capitales, comme Rome, Vienne et Paris, ont admis des forces électromotrices de 2 à 3.000 volts. A Londres, à l'usine de Deptford, les machines Ferranti envoient le courant à 10.000 volts, chiffre considérable qui n'a pu être atteint avec les dynamos à courants continus dont le voltage ne dépasse pas 4.000 volts.

## 2<sup>o</sup> DIVERS MODES DE DISTRIBUTION.

Toutes les lampes électriques actuelles nécessitent toujours deux câbles. On n'a pas pu jusqu'à ce jour se servir de la terre comme câble de retour; en résumé toute distribution forme un circuit fermé sur lequel sont intercalés les appareils de production et de consommation.

Dans les débuts de l'éclairage électrique, on ne plaçait qu'une lampe à arc par batterie de piles, et même plus tard par machine. Malgré les

essais de Quirini et Deleuil (1855) on ne parvint pas à augmenter le nombre de lampes, c'est la période des *monophotes*.

En 1868, Le Roux imagina d'employer une roue distributrice pour envoyer le courant successivement dans deux circuits. L'intervalle entre chaque distribution était de  $\frac{1}{25}$  de seconde, de telle sorte que la durée de l'extinction, se produisant dans chaque circuit, n'était pas sensible à l'œil. Mais le procédé trop compliqué ne donna pas de résultats satisfaisants.

**Distribution en dérivation.** — Les essais de Chanzy, de Reynier et Wedermann sont autant de solutions de la distribution de la lumière à plusieurs appareils, mais il faut arriver jusqu'à ceux de Jablochhoff (1878) pour trouver une première application sérieuse de la division du courant.

Il s'agissait de l'éclairage de l'avenue de l'Opéra obtenu au moyen de 32 candélabres à six bougies placés de chaque côté de la chaussée. Le courant était fourni par deux machines Gramme de 16 chevaux disposées dans deux caves au milieu de l'avenue. Les deux câbles de distribution situés le long des trottoirs, alimentaient les 16 candélabres correspondants. Un commutateur à six touches permettait à un surveillant d'envoyer le courant successivement à chacune des six bougies, au fur et à mesure de leur consommation. Enfin, au point de raccordement des câbles de chaque candélabre avec ceux de la conduite principale, un regard permettait la visite de ce branchement. Les essais ayant donné de très bons résultats, c'est sur ce principe qu'ont été établis toutes les distributions en dérivation.

Dans le système de distribution en dérivation tous les appareils sont branchés sur une canalisation principale. C'est en somme le même principe que celui de la distribution du gaz. Le potentiel doit être le même à chaque branchement quel que soit le débit de la ligne. La condition principale est donc d'avoir aux bornes de la machine un voltage constant. Il se présente un inconvénient : plus les conducteurs sont longs, plus leur résistance augmente et la tension baisse rapidement à partir des pôles de la machine. Il faut y remédier pour permettre à tous les appareils de fonctionner d'une manière identique sous le même potentiel. Plusieurs solutions ont été proposées et leur application dépend naturellement des circonstances (fig. 126).

1° Tous les branchements partent des bornes de la machine, la sec-

tion des conducteurs varie alors avec leur longueur, de manière à ce qu'ils aient tous la même résistance. Dans ces conditions, la force électromotrice est la même pour tous les appareils. Ce système ne peut être employé que dans des installations de faible importance, ne nécessitant qu'une petite quantité de cuivre.

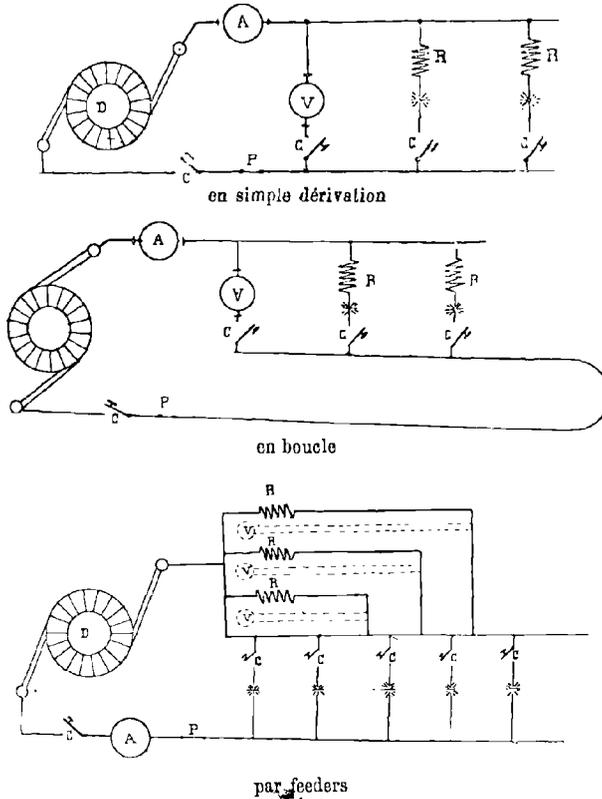


Fig. 126. — Modes de distribution en dérivation.

A, Ampère-mètre. — V, Voltmètre. — C, Commutateurs. — R, Résistances auxiliaires.  
P, Coupe-circuits.

2° Dans d'autres cas, on double la longueur d'un des câbles en le repliant en forme de boucle. Le premier appareil branché est relié au commencement du premier câble et à la fin du câble double; le dernier, au contraire, est branché à la fin du premier câble et au milieu du câble double. Les autres appareils se placent dans des positions intermédiaires. Quel que soit le rang d'un appareil, la disposition en *boucle* permet de lui amener le courant toujours avec la même longueur

de fils, c'est-à-dire avec la même résistance. Ce système, très simple, n'a qu'un inconvénient, celui de nécessiter une longueur de câbles beaucoup trop considérable. Il ne convient donc que pour les petites installations.

3° Aussi, dans les installations de plus d'importance, lui préfère-t-on la distribution par *feeders*. Comme précédemment, les lampes sont montées en dérivation sur deux câbles principaux ou de distribution; c'est-à-dire que les branchements sont pris sur leur parcours.

Une deuxième série de fils ou d'alimentation partent directement de la machine et viennent aboutir en différents points de la ligne des conducteurs principaux sans qu'on prenne aucune dérivation sur leur parcours. Ils renforcent le voltage aux points faibles, et, sur tout le réseau, on a sensiblement la même tension. Ces fils d'alimentation ou *feeders* ont des sections en rapport avec leur longueur, que l'on peut, du reste, faire varier artificiellement au moyen de fils spéciaux ou rhéostats, suivant les besoins du service. Avec ce système de distribution, les lampes ont en tous les points une intensité lumineuse constante. Les *feeders* sont du reste d'un emploi général dans tous les montages en dérivation.

**Distribution à trois fils.** — Lorsque la distance devient par trop considérable, le système en dérivation à deux fils est remplacé par celui à trois fils imaginé par Edison, et généralisé depuis. Ce mode de distribution a tous les avantages de la distribution en dérivation, en particulier celui de l'indépendance des appareils, mais il permet, en outre, de réaliser une économie importante dans le prix total de la canalisation.

Le principe consiste à accoler deux distributions en dérivation identiques par un de leurs câbles de nom contraire. On obtient alors une

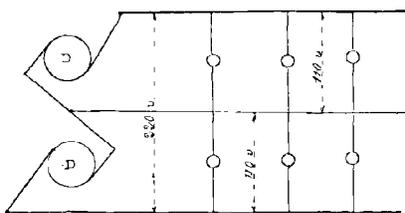


Fig. 127. — Distribution à trois fils.

distribution à trois conducteurs et deux machines. Le câble intermédiaire reçoit la différence de courant émis par chaque machine. S'ils sont identiques, il n'est parcouru par aucun courant, d'où le nom de fil neutre (fig. 127). Les deux dynamos sont alors montées

en tension et le voltage de toute la distribution est doublé. La conséquence

est une réduction de moitié dans la section des câbles. Le fil neutre peut être rendu excessivement mince, mais en pratique, on lui donne une section égale à celle des deux autres. Il est, en réalité, parcouru par un courant, car le nombre des lampes allumées sur chaque réseau ou pont n'est jamais le même. Ce système est très avantageux jusqu'à la distance de 800 mètres environ. L'économie en fils atteint alors 40 à 50 0/0. La tension aux divers points des deux câbles principaux est réglée au moyen de feeders. Cette distribution a été employée pour les secteurs Edison et pour celui des Halles.

Ce système a été généralisé, et au lieu de trois fils on peut en avoir quatre ou cinq avec trois ou quatre machines. La différence de potentiel d'un fil à l'autre, est égale au quart ou cinquième du potentiel établi entre les fils extrêmes.

Dans le système à cinq fils, par exemple, préconisé par la maison Siemens et appliqué au secteur de Clichy, à Paris, les fils extrêmes ayant plus d'importance ont une section plus grande, le fil du milieu vient ensuite et les autres intermédiaires ne devant travailler que dans le cas où les appareils en service ne sont pas uniformément répartis sont de beaucoup plus faibles. La tension atteint alors 440 volts. Ce système ingénieux permet d'aller à de grandes distances, sans exagérer la quantité de cuivre ; comme compensation, il est nécessaire, de poser des câbles nombreux et surtout possédant un excellent isolement. Des feeders régularisent la tension sur les câbles extrêmes. Mais il est nécessaire également de la régulariser entre les fils intermédiaires. Cette disposition assez délicate est obtenue par des moyens spéciaux, soit avec des dynamos (système Elihu Thomson), soit avec des accumulateurs.

Les appareils de consommation sont branchés en dérivation ou en tension, deux par deux, trois par trois, suivant le rang des câbles.

**Distribution en série.** — Lorsqu'au lieu de brancher les appareils sur deux câbles principaux, on les dispose à la suite les uns des autres, on obtient le montage en *série* (fig. 128). Le voltage est alors très considérable, et on est forcé de recourir à des machines à haute tension, à courants continus ou alternatifs. Cette distribution est caractérisée par la constance de l'intensité. C'est un des systèmes les plus récents.

L'énergie consommée est un peu moindre que pour les appareils en dérivation car la ligne règle mieux le courant. Il a les avantages de la

distribution à haute tension, c'est-à-dire frais d'installation moindres, mais son inconvénient capital est que tous les appareils sont solidaires.

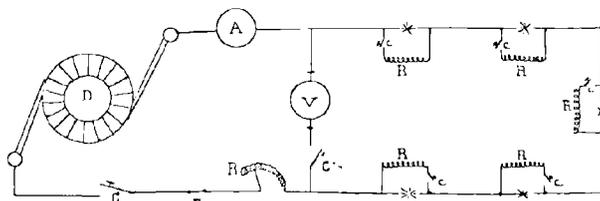


Fig. 128. — Distribution en série.

A, Ampèremètre. — V, Voltmètre. — R, Rhéostats. — C, Commutateur. — P, Coupe-circuits.

Cependant, dans les nouvelles lampes à arc ou à incandescence, une disposition spéciale permet de supprimer une lampe sans déranger les autres. Il a été appliqué dans le secteur de l'Air comprimé, pour l'éclairage public du boulevard de la Madeleine et des Capucines. Les machines et les lampes sont du type Thomson-Houston, le voltage atteint 2.400 volts. L'allumage et l'extinction de toutes les lampes doit se faire en même temps.

**Distribution mixte.** — Dans bien des cas, on peut recourir à un système mixte, c'est-à-dire monter en série plusieurs lampes et grouper en quantité toutes ces séries. Tous les appareils en tension sont solidaires les uns des autres, mais chaque groupe est indépendant.

L'éclairage de la gare d'Orléans est obtenu en partie de cette façon, les lampes à arc sont montées en tension sept par sept, le voltage est alors de 350 volts environ. La distribution mixte est assez employée lorsqu'on se sert concurremment de l'arc et de l'incandescence. Avec les types de lampes usitées couramment, une lampe à incandescence de 110 volts est équivalente comme tension à deux lampes à arc de 50 volts. Il en résulte que sur les mêmes conducteurs principaux on peut rattacher deux lampes à arc en tension, et isolément les lampes à incandescence. Le reste de la distribution ne présente rien de particulier et peut se faire d'après l'un des systèmes précédents.

**Distribution indirecte.** — L'emploi de la haute tension a certainement de grands avantages, mais son application directe n'est possible que dans quelques éclairages spéciaux. Il serait en effet très imprudent de la faire fonctionner chez les particuliers, où elle pourrait

occasionner les plus graves accidents. On tourne cette difficulté par une transformation de la haute tension en basse tension aux points où elle doit être utilisée. Cette distribution indirecte est obtenue par l'emploi d'accumulateurs ou de transformateurs.

*1° Par accumulateurs.* — Sur la ligne à haute tension, on intercale, comme l'a fait la Société de l'Air comprimé à Paris, des batteries d'accumulateurs.

Dans le cas particulier, trois usines principales fournissent un courant de 200 ampères à vingt-cinq sous-stations renfermant des accumulateurs. Chaque sous-station alimente les lampes des abonnés du voisinage sous la tension de 110 volts. Il y a deux batteries dans cha-

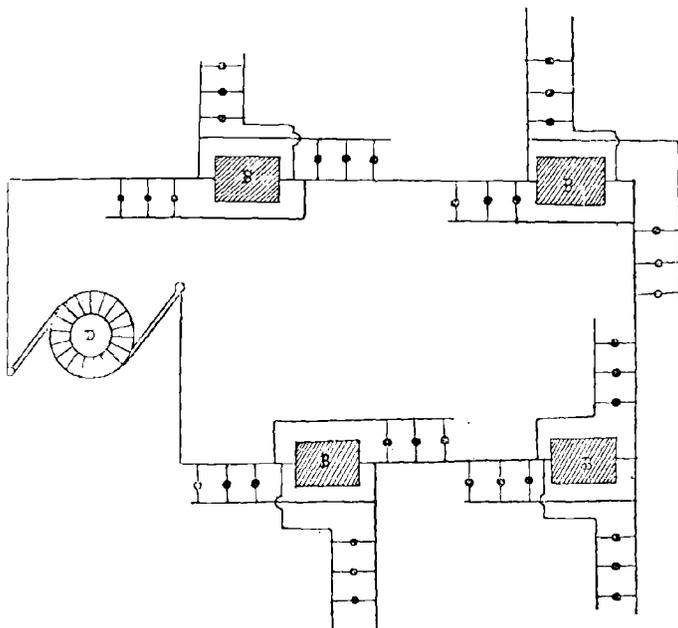


Fig. 129. — Distribution par accumulateurs.

que sous-station, pendant que l'une est en charge l'autre distribue le courant d'alimentation. On aurait pu n'avoir qu'une batterie et ne prendre dessus que le nombre d'éléments nécessaires pour avoir la tension de 110 volts, mais il aurait fallu interrompre la charge pendant les heures d'éclairage ou admettre les secousses et les variations qui auraient pu se produire pendant cette charge. Ce système est très avantageux, puisqu'il permet de faire fonctionner constamment les machines à va-

peur, mais il coûte très cher d'entretien, de plus le rendement est assez faible.

Un autre système de distribution par accumulateurs imaginé par M. Monnier, a été appliqué à l'éclairage de l'Opéra de Vienne. Quatre batteries d'accumulateurs disposées en série sont alimentées par une dynamo à courants continus. Les batteries sont disposées en des points fonctionnant comme des centres d'émission ; les lampes sont montées en dérivation sur chaque batterie sous une tension de 110 volts (fig. 129).

On se sert du conducteur de charge comme conduite de distribution. Les appareils d'éclairage étant en dérivation, la régulation du potentiel doit se faire par la batterie elle-même, en intercalant un plus ou moins grand nombre d'éléments. Cette disposition est très avantageuse, en effet, pendant le jour, les accumulateurs absorbent l'excédent de la production, le soir au contraire, ils fournissent le surplus exigé pour le fonctionnement de toutes les lampes. Les accumulateurs jouent en outre le rôle de transformateurs, c'est-à-dire qu'ils réduisent le voltage.

2°. *Transformateurs.* — Avec les machines à courants continus, on ne peut dépasser actuellement 4.000 volts, au-dessus, il faut recourir à des courants alternatifs et par suite employer des transformateurs pour réduire leur tension chez les particuliers.

Les transformateurs se placent en série ou en dérivation sur le circuit de la machine à haut potentiel dont les conducteurs ont alors de faibles dimensions.

Avec les transformateurs montés en série, l'intensité doit être constante, mais comme cette disposition est difficile à réaliser dans les machines à courants alternatifs, on préfère les monter en dérivation et alors on doit maintenir le potentiel constant aux bornes du transformateur. Cette régulation est obtenue souvent par l'emploi de *feeders*. L'alimentation des lampes par les transformateurs ne présente rien de particulier, elle a lieu le plus souvent en dérivation. Ces appareils sont placés chez l'abonné dans un endroit isolé, parfois un transformateur alimente plusieurs maisons. La condition importante est de mettre à l'abri de tout contact le transformateur avec les conducteurs primaires, toutes les précautions doivent être prises pour que la communication soit interrompue automatiquement dans le cas où le courant dans le secondaire dépasserait une certaine valeur. Ce mode de distribution est très employé en Amérique. Il sert également à l'éclairage des villes

de Rome et de Vienne et a été adopté pour le secteur des Champs-Élysées, à Paris.

**Applications.** — En résumé, chaque système de distribution a ses avantages et ses inconvénients, et son choix dépend des circonstances et en particulier de la longueur de la distribution.

Le système en dérivation, qui est un des plus répandus, convient pour les installations d'importance moyenne. Il a comme avantage de rendre les appareils indépendants, le réglage des lampes est plus facile à obtenir et enfin la lumière de l'arc voltaïque est plus blanche. Le voltage le plus répandu est celui de 110 volts; on groupe les lampes à arc deux par deux en tension et les lampes à incandescence sont montées directement en dérivation sur les deux conducteurs principaux. Les machines employées sont excitées en dérivation ou compound. Elles présentent la facilité de pouvoir se grouper en quantité suivant les besoins du service.

Lorsque la longueur des conducteurs devient plus considérable, on emploie le système à trois ou cinq fils, comme on l'a appliqué dans divers secteurs parisiens. Ils permettent de réaliser une sérieuse économie dans le poids du cuivre des conducteurs, tout en laissant les appareils indépendants; c'est-à-dire qu'ils participent à la fois de la distribution en dérivation et en série. Le voltage est, en général, un multiple de 110 volts. L'inconvénient de ce système est la régulation, qui entraîne quelques complications.

Enfin, quand la distance devient par trop grande, on a recours à la haute tension. Les voltages les plus employés sont compris entre 2.000 et 3.000 volts. On se trouve amené, lorsque les lampes doivent être indépendantes, à se servir d'accumulateurs ou de transformateurs. L'inconvénient des accumulateurs est de donner un rendement beaucoup trop faible, surtout si le nombre des batteries est considérable, mais ils permettent la marche continue des dynamos à pleine charge. Au contraire, avec les transformateurs, le rendement est d'autant plus grand que leur fonctionnement est plus voisin de la pleine charge. Les appareils de consommation étant montés en dérivation ne présentent alors rien de particulier. Lorsque toutes les lampes peuvent marcher en même temps, on emploie le montage en série direct qui est certainement le plus simple et le moins coûteux, mais n'est applicable que dans un très

petit nombre de cas. Il y a une machine par circuit et le nombre des lampes à arc varie de 30 à 50. L'énergie est un peu moindre qu'avec le système en dérivation, mais le réglage des lampes est plus difficile et la lumière obtenue est plus colorée. De plus la manipulation des appareils à la haute tension est toujours dangereuse.

---

## VII. — Lampes à arc.

---

### 1° ARC VOLTAÏQUE

**Propriétés.** — La lumière provenant de l'étincelle électrique jaillissant d'une manière continue entre deux corps conducteurs écartés est désignée plus spécialement sous le nom d'arc voltaïque. La découverte en est due à Humphry Davy, qui le premier imagina, en 1813, d'intercaler deux morceaux de charbon de bois sur le circuit d'une batterie de piles de Volta de 2.000 éléments.

Les propriétés de l'arc varient avec la nature du courant, avec les conducteurs et le milieu dans lequel il se développe. C'est ainsi qu'avec des électrodes en zinc, en argent ou en platine, sa couleur est bleue, verte ou rouge. De même, si l'on opère dans le vide ou dans un gaz particulier, sa forme et ses dimensions sont modifiées. Lorsqu'il jaillit entre deux pointes, il a la forme ovoïde, au contraire entre une pointe et une plaque il devient conique. Son éclat dépend du milieu, plus ce dernier est conducteur moins l'arc est brillant. On voit combien sont variables les conditions dans lesquelles on peut produire cette source lumineuse.

Actuellement, pour l'éclairage, l'arc est obtenu à l'air libre entre deux électrodes de charbon ou crayons. Les charbons sont portés au rouge et à cette température élevée, ils se consomment rapidement. En les plaçant dans le vide, cette combustion pourrait être évitée, mais la complication qui en résulterait explique l'adoption de l'arc en plein air. La lumière obtenue se compose de deux parties : l'une provenant de l'arc électrique jaillissant entre les deux électrodes, l'autre fournie par une sorte de flamme allant d'un charbon à l'autre et entourant l'arc. Comme l'éclat de cette dernière est rouge et que celui de l'arc est bleu, la couleur résultante a une teinte violacée. Il faut ajouter à cette lumière celle qui est fournie par l'incandescence des charbons, et dont le rôle est très important. Il arrive par moment que la flamme jaillissant entre les charbons disparaît et que l'arc seul donne sa lumière bleuâtre

et peu éclairante, il en résulte des variations très sensibles à l'œil nu.

L'arc peut être produit indifféremment par des courants continus ou alternatifs. Avec ces derniers, les électrodes se taillent en pointe; la lumière obtenue est distribuée symétriquement par les deux crayons. Cet arc est caractérisé par un sifflement provenant peut-être du changement de sens du courant. Avec les tensions très élevées, ce sifflement diminue.

Les courants, toujours de même sens, modifient les conditions de fonctionnement : le charbon positif, au lieu de se tailler en pointe comme le négatif, se creuse en forme de cratère. L'usure n'est plus la même; le charbon négatif se consume deux fois plus vite

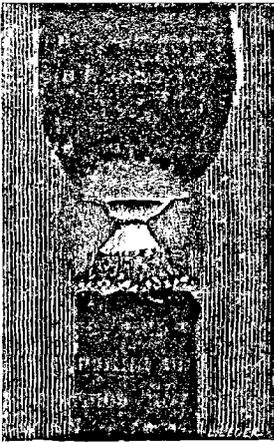


Fig. 130. — Arc voltaïque.

que l'autre. Cette différence provient de ce qu'il y a transport de la matière du pôle positif au négatif. L'arc est en effet une partie du courant, et jouit des propriétés du reste du circuit. Le transport de la matière est facile à observer : lorsqu'on examine les électrodes au microscope, on voit se former sur le crayon positif des globules liquides incandescents, qui se précipitent sur le négatif. Ces globules proviennent de substances minérales contenues dans les crayons; elles fondent sous l'action du courant. Dans les charbons actuels, la présence de ces globules est moins fréquente (fig. 130).

Le transport de la matière a lieu également avec les courants alternatifs, mais, comme elle se produit dans les deux sens, il en résulte que les deux crayons sont dans les mêmes conditions, et s'usent de la même façon. Avec les courants continus, la distribution de la lumière n'est plus la même : le cratère forme réflecteur et renvoie la lumière dans une direction déterminée.

Pour franchir l'espace entre les deux conducteurs, il est nécessaire que le courant ait une force électromotrice suffisante. En réalité, tout se passe comme si le circuit avait sa section réduite en ce point, opposant ainsi une résistance beaucoup plus grande au passage du courant. Le travail absorbé n'est pas perdu, il se transforme d'abord en chaleur, puis en lumière, suivant le principe de la conservation de l'énergie. La différence de potentiel, nécessaire à la formation de l'arc, dépend de

la nature du milieu, un peu de celle des crayons, et surtout de la longueur de l'espace à franchir. Davy dans ses expériences, avec le même nombre de piles, 2.000 éléments, obtenait un arc de 0<sup>m</sup>,11 dans l'air, et de 0<sup>m</sup>,18 dans le vide. La longueur de l'arc croît plus vite que la force électromotrice. Pour atteindre sa dimension maximum, il doit être placé dans les conditions les plus favorables : disposé horizontalement, ou de bas en haut ; il est gêné par l'air ou par la pesanteur. Dans les appareils actuels, cette longueur varie généralement entre 1<sup>mm</sup>,5 et 2 centimètres ; la force électromotrice correspondante est comprise entre 40 et 50 volts. Avec les courants alternatifs, elle est plus faible : 33 à 38 volts. Si le voltage est exagéré, les charbons se désagrègent et commencent à flamber.

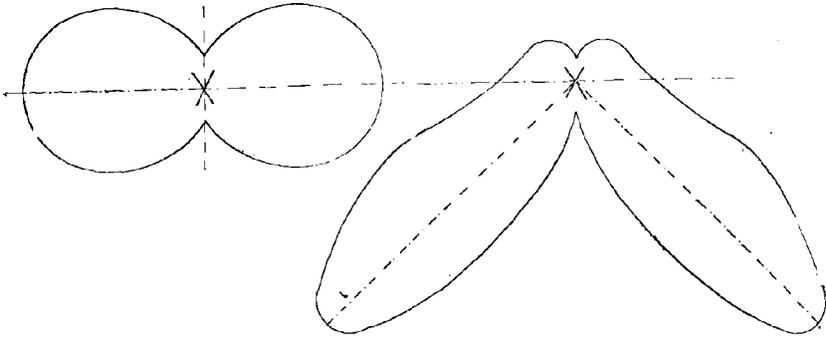
Pour produire l'arc, la condition indispensable est d'amener d'abord les crayons en contact, la résistance opposée par l'air étant trop considérable pour permettre la formation du courant. Les crayons sont ensuite écartés, et l'intervalle est parcouru par les molécules de charbon, qui continuent en quelque sorte le circuit interrompu. Lorsque le milieu a atteint une certaine température, l'arc jaillit facilement à des distances pouvant atteindre 3 à 4 millimètres. C'est ce qui se passe avec les courants alternatifs dans lesquels l'arc est interrompu au moment du changement de sens du courant.

La température de l'arc est la plus élevée qu'on soit arrivé à produire : on y fond tous les métaux et les corps les plus réfractaires. On évalue à 4.500<sup>o</sup> celle de l'arc, et à 4.000<sup>o</sup> celle du positif ; le crayon négatif serait à une température moins élevée, atteignant 3.000<sup>o</sup>. Cette inégalité de chaleur concorde avec la différence de teinte des deux crayons : le positif est au rouge blanc, et le négatif au rouge sombre seulement.

Ces températures élevées expliquent en quelque sorte l'intensité lumineuse considérable de l'arc voltaïque : à peu près 85 % de cette lumière sont fournis par les charbons incandescents.

Des mesures photométriques ont permis d'étudier l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque suivant différentes directions. Dans un plan vertical, avec les courants alternatifs, cette répartition est symétrique par rapport à l'horizontale, et c'est sur cette dernière qu'elle atteint son intensité maximum pour aller ensuite en diminuant progressivement, jusque sur la verticale, où elle devient nulle. On peut représenter graphiquement la distribution de la lumière dans ce plan vertical, en

portant sur les différents rayons, menés du foyer comme centre, des longueurs proportionnelles à l'intensité lumineuse (fig. 131).



Courants alternatifs,

Courants continus.

Fig. 131. — Représentation graphique de la distribution de la lumière de l'arc voltaïque.

Les courants continus ne donnent plus la même répartition de lumière. Le cratère du crayon positif en fournit la plus grande quantité dirigée vers le bas. Cette quantité atteint son maximum dans une direction voisine de 40 degrés. L'intensité maximum étant représentée par 1000 le tableau suivant donne les différentes valeurs dans les autres directions, en convenant d'affecter du signe — celles au-dessus du plan horizontal.

Inclinaison sur l'horizontale	Intensité lumineuse.
— 60° . . . . .	48
— 30° . . . . .	110
0 . . . . .	208
10 . . . . .	401
20 . . . . .	612
30 . . . . .	871
40 . . . . .	1,000
50 . . . . .	807
60 . . . . .	457
70 . . . . .	188
90 . . . . .	0

Cette répartition est très avantageuse lorsqu'il s'agit d'éclairage public, toute la lumière est renvoyée vers le sol. On peut également représenter graphiquement ces divers résultats.

D'un plan vertical à l'autre, les valeurs observées devraient être les mêmes; il n'en est pas toujours ainsi par suite du peu d'homogénéité des crayons ou de leur position défectueuse, l'usure ne se fait pas symé-

triquement. On peut du reste exagérer ce défaut pour en tirer profit ; en inclinant les charbons l'un par rapport à l'autre, on arrive à diriger la lumière dans une direction déterminée. Le cas se présente dans certains phares, et dans quelques éclairages spéciaux.

**Crayons.** — La nature des crayons joue un grand rôle dans la production de l'arc. Davy se servait de baguettes de charbon de bois éteintes dans le mercure pour les rendre plus conductrices. Foucault substitua à ces crayons de trop faible durée le charbon des cornues débité à la scie en morceaux à section carrée de 1 centimètre de côté dressés ensuite à la meule. Ils mesuraient 20 centimètres de longueur ; mais le manque d'homogénéité de cette substance força les constructeurs à recourir à d'autres procédés.

Staite et Edward en Angleterre firent breveter un charbon obtenu avec du poussier de coke aggloméré au moyen d'un sirop de sucre, et soumis ensuite à une forte cuisson. C'est le principe de la fabrication actuelle des crayons artificiels.

Le point capital est d'obtenir du charbon très pur, et c'est par le mode de préparation que les divers procédés diffèrent entre eux. M. Jacquelin avait imaginé de faire une sorte de charbon des cornues artificiel. Il décomposait des hydrocarbures par la chaleur, la substance obtenue se présentait sous forme de lames qu'on débitait ensuite à la scie. Quoique donnant une très belle lumière, ces crayons difficiles à préparer ont été abandonnés.

Dans le procédé de M. Gauduin, les hydrocarbures ont été remplacés par du goudron ou du brais. Le charbon obtenu est ensuite réduit en poudre impalpable mélangée à du noir de fumée. L'ensemble est aggloméré au moyen d'hydrocarbures. Mais ces crayons longs à préparer soutiennent difficilement la concurrence contre ceux obtenus par le procédé de M. Carré, dans lequel des poudres provenant du coke de pétrole et du noir de fumée sont lavées dans des réactifs destinés à les débarrasser des sels qu'elles peuvent renfermer. Une fois purifiées, elles sont ensuite agglomérées avec du sirop de sucre.

Quel que soit du reste le moyen employé pour obtenir des poudres charbonneuses pures, d'une manière générale on a recours au sirop de sucre pour en faire un aggloméré qui est *moulé* ou *comprimé* sous forme de baguettes, et que l'on carbonise ensuite en vase clos. Les baguettes sont disposées dans des fours en couches horizontales superpo-

sées et entourées de poussier de coke. Le chauffage dure de quatre à cinq heures.

Après cette première cuisson, les crayons sont plongés dans une solution de sucre concentrée, et recuits à nouveau. On peut alors les disposer verticalement, ils sont suffisamment résistants pour ne pas se déformer. On les replonge dans une nouvelle solution pour les recuire ensuite. Ces opérations répétées, qui constituent le *nourrissage*, servent à augmenter l'homogénéité des crayons. On les recommence un nombre de fois plus ou moins grand suivant qu'on veut obtenir des crayons tendres ou durs.

La dureté des charbons dépend également de leur mode de fabrication. Les charbons filés ou comprimés sont plus durs que les autres, leur conductibilité est plus considérable, aussi les emploie-t-on pour les basses tensions. Ils s'usent moins vite que les tendres, mais ils donnent moins de lumière. Les charbons tendres sont sujets à crépiter.

Malgré tous les soins apportés à la purification des crayons, il entre souvent dans leur composition des substances étrangères, qui font varier la couleur de l'arc.

On a essayé de tirer parti de cet inconvénient en ajoutant à la pâte des substances minérales de manière à changer la teinte de la lumière, ou à augmenter la durée de l'arc. Comme le mélange n'était jamais bien intime, on obtenait une lumière vacillante et instable, aussi n'a-t-on pas donné suite à ces essais.

On a tenté également d'augmenter la conductibilité des crayons en les recouvrant extérieurement d'une couche métallique pour obtenir le même rendement lumineux avec une usure moindre. Mais il arrive qu'avec la haute température de l'arc, la couche métallique s'oxyde, ou se désagrège, et que le résultat cherché n'est pas réalisé. Au lieu de poser la couche extérieurement, Jablochhoff (1878) plaçait à l'intérieur du crayon une tige métallique, mais elle diminuait l'intensité lumineuse de l'arc. Les recherches n'ont pas été abandonnées et de temps à autre on voit apparaître des crayons basés sur ces divers principes.

Dans ces dernières années, on a même essayé (charbons Saunderson), de faire arriver dans l'axe des crayons des vapeurs d'huile minérale. Les essais sont trop récents pour en tirer une conclusion quelconque.

Actuellement, les charbons positifs ont leur partie centrale constituée par une pâte tendre ou mèche destinée à donner un cratère très régulier. L'emploi des crayons positifs à mèche est à peu près général.

Pour remédier à la différence d'usure des charbons et leur conserver cependant la même longueur, on donne quelquefois au positif une section double du négatif.

Quant aux dimensions des crayons en général, elles dépendent de l'intensité du courant. La section ne doit être ni trop faible ni trop forte. Dans le premier cas, l'usure linéaire est trop rapide, dans le second, l'ombre portée par le négatif est trop considérable, il est vrai que la lumière est plus fixe. On admet le plus souvent une intensité de 12 à 15 ampères par centimètre carré. Voici du reste les chiffres les plus employés pour la section du négatif, le positif ayant la longueur ou la section double.

Lampes de	Diamètres.
3 à 6 ampères . . . . .	6 à 11 <sup>m</sup> / <sub>mm</sub>
6 à 12 — . . . . .	11 à 13 —
12 à 20 — . . . . .	13 à 16 —
20 à 25 — . . . . .	16 à 20 —
25 et au-dessus — . . . . .	20 —

Ces chiffres n'ont rien d'absolu, ils diffèrent suivant les constructeurs. Quant à la longueur, elle est subordonnée au déplacement des porte-charbons. On aurait avantage à la rendre aussi grande que possible pour augmenter leur durée, mais la lampe devient alors encombrante, on préfère souvent employer deux ou trois paires de charbon. Cette dimension varie de 200 à 300 millimètres. Les crayons sont établis pour une durée moyenne de 8 à 16 heures ; dans ce dernier cas, on augmente le diamètre, la longueur ou même ces deux dimensions.

**Régulateurs.** — Par suite de l'usure des charbons, pour empêcher l'extinction de l'arc, il est nécessaire de les rapprocher à chaque instant. Thomas Wright, en Angleterre, avait imaginé de produire ce rapprochement des crayons, formés par des disques pleins en charbon au moyen de deux mouvements d'horlogerie ; la rotation des disques très régulière, n'était nullement en rapport avec l'usure inégale des charbons, aussi le système dut être abandonné.

Foucault en France et Staite en Angleterre, ont les premiers réussi à confier au courant lui-même le soin de rapprocher les crayons, et à rendre la lumière très fixe. Depuis, il a été imaginé un grand nombre de dispositions, les seules consacrées par la pratique sont basées sur l'emploi d'électro-aimants excités soit par le courant, soit par une déri-

vation ou même par un système mixte. C'est du reste d'après le mode d'excitation qu'on classe les régulateurs. Il y en a trois groupes principaux : les régulateurs en série, en dérivation et différentiels.

Les régulateurs en série sont les plus anciens, ils ne permettent que l'emploi d'une lampe par circuit, mais depuis, les régulateurs en dérivation ou différentiels ont fait disparaître cette difficulté.

Quel que soit le système employé, l'arc ne se produit que lorsque les charbons sont au contact, il ne jaillit jamais à distance. Il en résulte que dans tout régulateur le mécanisme doit être disposé de manière à assurer le contact des crayons d'abord, puis leur séparation.

## 2° RÉGULATEURS EN SÉRIE

Ce sont les plus anciens, ils sont caractérisés par leur électro dont le circuit est parcouru par le courant total qui alimente l'arc. Les charbons généralement sont amenés au contact par l'action de la pesanteur ou d'un mécanisme quelconque. L'électro a pour but de produire l'écartement à l'amorçage et pendant le fonctionnement du régulateur.

La détermination du nombre exact de tours de fil à enrouler autour du noyau de l'électro ne présente aucune difficulté, son action étant en effet contrebalancée par celle d'un ressort antagoniste ou d'un contrepoids qu'il est toujours facile de régler.

Le principe de l'appareil est en général très simple, mais il y a toujours une difficulté : celle de réduire le mouvement des différents organes de manière à ne pas influencer brusquement l'arc voltaïque, dont la lumière doit paraître constante. Aussi dans ces appareils, le nombre des engrenages de transmission est généralement considérable et entraîne forcément une grande complication.

Dans les premières installations, on ne plaçait qu'un seul foyer par machine ou par batterie de piles, d'où le nom de monophote donné quelquefois à ces appareils. L'électro de chaque lampe étant parcouru par le courant total, on comprend aisément que les moindres irrégularités dans une lampe se seraient transmises immédiatement à toutes les autres placées sur le même circuit. Cette impossibilité a du reste été la cause qui a fait abandonner ces lampes, quoiqu'elles aient toujours eu isolément un très bon fonctionnement.

Il convient d'examiner quelques-unes d'entre elles, dont le principe a été conservé pour être appliqué aux lampes différentielles.

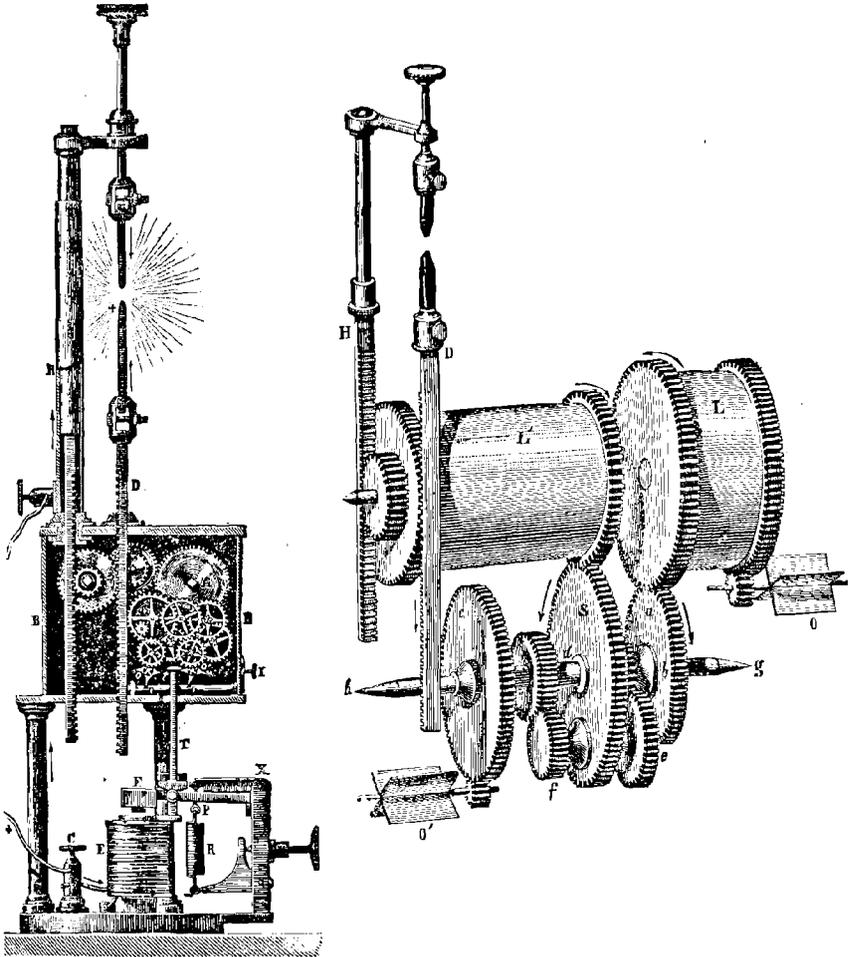


Fig. 132. — Régulateur de Foucault

• H, D, crémaillères des porte-charbons engrenant avec la roue du barillet L' — O, O', moulins des deux mouvements d'horlogerie L, L', pouvant être embrayés par le taquet t du levier T. — E, électro agissant par l'intermédiaire de l'armature F sur le levier T. — R, ressort antagoniste dont l'action s'exerce sur F par le moyen de la pièce courbe X.

L', barillet produisant le rapprochement des crayons ; L, leur écart. — Lorsque L' tourne, c'est-à-dire lorsque O' est libre, il fait mouvoir la roue S dont les deux roues f et e roulent sur b et d sans agir sur L ; — au contraire, lorsque L est en mouvement dans le sens de la flèche, il entraîne a et b montées à frottement doux sur l'arbre g-h, b déplace e qui fait tourner à son tour la roue S et par suite le barillet L' en sens inverse du mouvement précédent, c'est-à-dire dans celui de l'écart des crayons, mais il faut pour cela que l'action de L soit supérieure à celle de L'.

**Régulateur de Foucault.** — Le régulateur de Foucault est le premier en date (1848). Dans cette lampe, les deux charbons sont fixés

à deux crémaillères engrenant en sens inverses avec deux roues dentées montées sur le même axe horizontal, et dont l'une a un nombre de dents double de celui de l'autre. Le charbon positif correspond à la grande roue, et il se déplace deux fois plus vite que le négatif de manière à rendre ainsi le point lumineux fixe.

Le principe de cette lampe est fort simple. L'axe des deux roues est commandé par deux mouvements d'horlogerie tournant en sens inverse. Suivant que l'un ou l'autre agit, les crayons montent ou descendent. C'est alors qu'intervient l'électro de réglage pour permettre l'action isolée d'un des deux mouvements. Chaque barillet met en mouvement un moulinet et entre les deux se trouve placé un taquet d'arrêt, fixé sur un levier commandé par l'armature de l'électro. Un ressort antagoniste agit à l'autre extrémité du levier par l'intermédiaire d'une pièce courbe permettant de régler d'une manière très sensible l'action de ce ressort.

Voici comment fonctionne l'appareil : lorsque les charbons sont trop rapprochés par exemple, le bras du levier attiré par l'électro enclenche le barillet correspondant au rapprochement des charbons laissant en liberté l'autre mouvement qui les écarte, jusqu'au moment où la résistance de l'arc étant plus grande, le ressort l'emporte sur l'électro et enclenche à son tour le barillet produisant l'écartement des charbons. La mise en mouvement des barillets résulte de l'antagonisme entre l'électro et le ressort.

L'un des mouvements d'horlogerie, celui qui rapproche les crayons, agit directement sur les deux crémaillères, l'autre au contraire produit leur écart par l'intermédiaire d'une transmission dont le détail est indiqué dans la légende de la figure 132. Ces divers changements se font assez lentement pour qu'on ne puisse s'apercevoir à l'œil du mouvement des crayons.

Le régulateur de Foucault était disposé de manière à pouvoir envoyer la lumière dans toutes les directions, et l'on pouvait déplacer le point lumineux pendant son fonctionnement. Cet appareil trop délicat n'est plus guère employé que dans les laboratoires.

**Régulateur Serrin.** — L'appareil de Foucault a été remplacé, au bout de quelque temps, par le régulateur Serrin, qui a été l'un des plus répandus.

Le rapprochement des charbons y est obtenu par la pesanteur ; le

charbon supérieur libre dans une douille tend à descendre. Il agit par l'intermédiaire d'une crémaillère sur une roue dentée dont l'axe reçoit une chaîne de Galle fixée par l'autre extrémité au porte-charbon inférieur. La roue en tournant sous l'action de la pesanteur remonte le crayon négatif jusqu'à ce que les deux charbons soient en contact. En donnant à ces divers organes des dimensions convenables, on peut rendre le point lumineux fixe.

Dans le bas de la lampe se trouve un électro parcouru par le courant qui passe entre les charbons ; il sert à régler la lumière et à produire le recul à l'allumage. Son mode d'action est fort simple. Sur la coulisse du porte-charbon supérieur pivote un cadre rectangulaire à quatre bras articulés, dont l'un supporte le crayon négatif et un taquet d'arrêt. Le bras horizontal inférieur porte un noyau en fer doux placé à peu de distance de l'électro, et par conséquent dans le champ de cet électro. Les charbons étant au contact, le courant qui passe dans cet électro est suffisamment intense pour attirer par le moyen du barreau de fer doux le bras horizontal du cadre, et séparer aussitôt les deux crayons : l'arc est

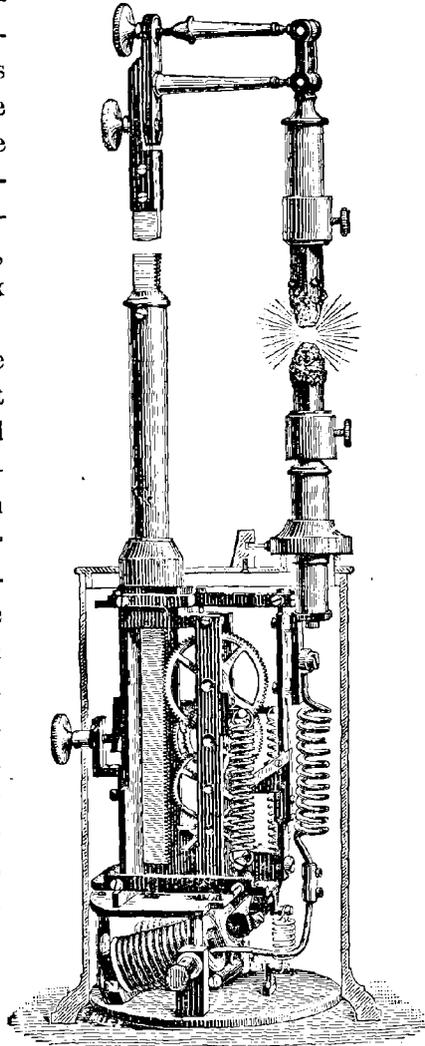


Fig. 133. — Régulateur Serrin.

formé. Le contact étant rompu, le charbon supérieur tend à descendre, mais le mouvement de la roue dentée engrenant avec la crémaillère est arrêté par le taquet du cadre mobile qui vient enclencher un moulinet mû par cette roue dentée. Pour que le rapprochement soit possible, il faut que le cadre mobile ramené par un ressort reprenne sa

place primitive, et ce résultat ne peut être obtenu que si le ressort l'emporte sur l'action du champ de l'électro, c'est-à-dire que dans le cas où l'intensité du courant aurait suffisamment baissé. La puissance du ressort peut se régler au moyen d'une vis extérieure (fig. 133).

Le courant arrive d'abord au porte-charbon supérieur par le massif même de la lampe, et il se rend ensuite au charbon inférieur par l'intermédiaire d'une lame flexible qui le suit dans ses mouvements. Le porte-charbon supérieur peut recevoir en outre deux mouvements rectangulaires au moyen de vis qu'on peut déplacer pendant la marche. Il y avait plusieurs modèles de régulateurs Serrin, dont quelques uns à charbon des cornues de 15 millimètres de côté pouvaient débiter 24 à 25 ampères. Un grand nombre de ces régulateurs ont été appliqués à l'éclairage des phares.

**Régulateur Siemens.** — Le régulateur Siemens, employé au début en Angleterre et en Allemagne, est encore une simplification de celui de Serrin.

Le rapprochement des charbons est produit par la pesanteur. Le porte-charbon positif en descendant met en mouvement, au moyen d'une crémaillère, une roue dentée qui remonte la crémaillère correspondante du négatif. Cette roue qui commande les deux crémaillères, embraille au moyen d'une série d'engrenages un pignon sur l'axe duquel est montée une roue à rochet (fig. 134).

Dans le bas de l'appareil se trouve disposé l'électro destiné au réglage de l'arc. Lorsque le courant ne passe pas, les charbons sont en contact, mais si on vient à l'envoyer, il devient assez intense dans l'électro pour que ce dernier puisse attirer la branche horizontale d'un levier coudé dont la branche verticale porte un cliquet qui agit sur la roue à rochet et la force à avancer d'une dent. Celle-ci fait tourner tous les engrenages et remonte les charbons. Mais aussitôt, l'électro-aimant est supprimé du circuit par un contact direct qui s'établit entre la branche verticale du levier et une pièce fixe. L'électro n'attirant plus la branche horizontale, le levier est ramené par un ressort antagoniste dans sa position primitive. L'électro-aimant se trouve, par suite, intercalé dans le circuit, il y a de nouveau attraction du bras du levier, et la roue à rochet avance encore d'une dent. La même manœuvre se renouvelle jusqu'au moment où l'intensité du courant est trop faible pour permettre à l'électro d'attirer le levier, c'est-à-dire lorsque l'arc a une grandeur suffisante.

Quand la résistance de l'arc est trop grande les porte-charbons sollicités par la pesanteur redescendent de nouveau en rapprochant les crayons. Les mouvements des porte-charbons sont assez lents pour ne donner lieu à aucune oscillation dans la lumière. Le courant arrive à l'électro, suit le corps de la lampe, qui forme conducteur, pour parvenir au positif, et revient par le négatif à la deuxième borne de prise de courant. Deux systèmes spéciaux de vis de réglage permettent de faire varier la position du point lumineux pendant le fonctionnement de l'appareil. C'est sur le circuit de ces premières lampes qu'on a imaginé d'intercaler une résistance de réglage pour augmenter la fixité de la lumière.

Le régulateur Siemens, comme tous ceux où sont employés des trembleurs actionnés par des électros-aimants, présente un inconvénient grave. A chaque rupture du courant, il y a formation d'étincelle qui, au bout de très peu de temps, détériore les contacts.

**Régulateur Jaspar.**— En 1847, un peu avant Foucault, le constructeur Archereau avait essayé d'utiliser, pour la régulation de l'arc, la propriété que possède un barreau de fer doux de se déplacer dans l'intérieur d'un solénoïde lorsqu'il n'est pas à égale distance des extrémités de la

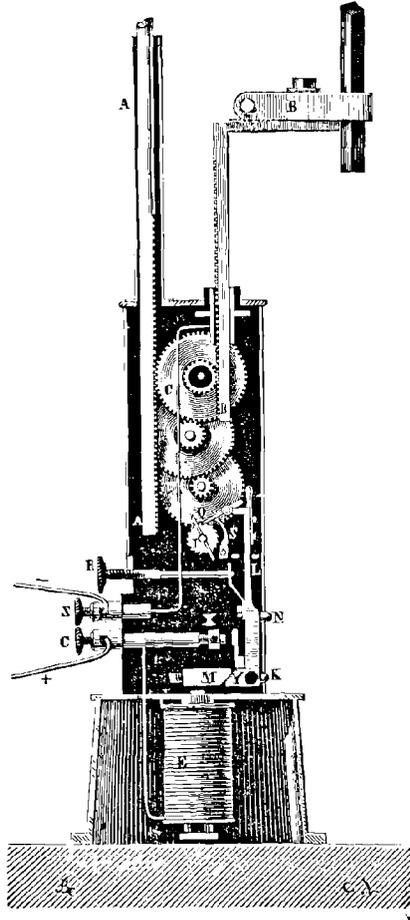


Fig. 134. — Régulateur Siemens

A, porte-charbon avec crémaillère agissant par l'intermédiaire de la roue C sur la crémaillère du négatif B; — E, électro parcouru par le courant total de la lampe attirant la branche horizontale M du levier condé L; — O, cliquet séparant, au moyen de la roue T, les crayons; — le contact X rompt le passage du courant dans l'électro; — R, ressort ramenant le levier L dans sa position primitive; — K appendice extérieur par où se règle l'écart de l'armature M; — N, second appendice indiquant les vibrations de l'appareil de réglage.

bobine. Dans son régulateur, le solénoïde était vertical et le barreau de fer doux se plaçait à l'intérieur supportant le charbon négatif (fig. 135). Un contrepoids équilibrait l'action de la pesanteur, et tendait à rapprocher les crayons, dont le positif restait fixe. Lorsque le courant venait à passer, le porte-charbon négatif tendait à descendre produisant le recul nécessaire à l'allumage. Il y avait antagonisme

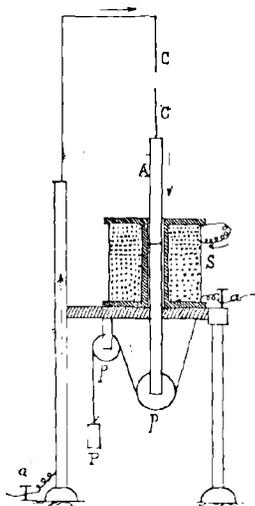


Fig. 135. — Régulateur Archereau

A, porte-charbon se déplaçant dans le solénoïde S parcouru par le courant total de l'arc; — P, contre-poids rapprochant les crayons par l'intermédiaire des poulies p, p; — c, c, crayons; — a, a, bornes de prise de courant.

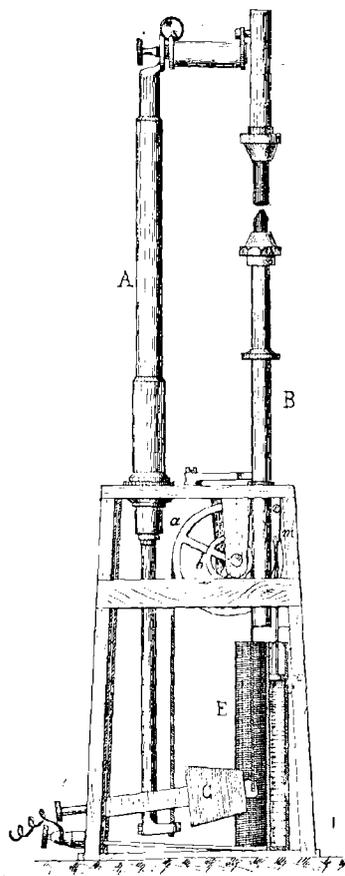


Fig. 136. — Régulateur Jaspard

a, poulie recevant le mouvement du porte-charbon A; — b, poulie relevant le porte-charbon B; — E, électro régulateur; — p, piston amortissant les oscillations: il est fixé en m au porte-charbon B; — C, contrepoids mobile contrebalançant l'action de l'électro.

entre le contrepoids et l'électro-aimant. Le principe très simple donnait un réglage insuffisant, qui nécessitait la présence d'un opérateur habile; aussi la lampe Archereau a-t-elle été abandonnée.

On retrouve l'idée d'Archereau dans un grand nombre de lampes imaginées depuis. En limitant le mouvement des charbons et en amortissant les oscillations, M. Jaspard, de Liège, a réalisé un régulateur d'un

très bon fonctionnement. Le contrepoids précédent est remplacé par le porte-charbon supérieur qui est mobile et se déplace dans une coulisse fixe. En descendant, il agit par l'intermédiaire d'une corde sur une poulie, dont l'axe supporte une deuxième poulie d'un diamètre égal à la moitié de celui de la première. Cette deuxième sert à remonter le crayon négatif prolongé dans le bas par un barreau de fer doux s'enfonçant dans l'électro-régulateur (fig. 136).

Cet électro forme réservoir et contient du mercure. Le porte-charbon négatif faisant piston, il en résulte que les mouvements sont amortis par le mercure. On complète le réglage au moyen d'un contrepoids additionnel se déplaçant le long d'une tige horizontale attachée à son extrémité à une corde, qui vient se fixer au porte-charbon négatif, après s'être enroulée sur une troisième roue montée sur l'axe des deux premières. On peut faire varier la valeur de l'action de ce contrepoids en le déplaçant, au moyen d'une vis extérieure, le long de son support horizontal. Le fonctionnement est identique à celui de la lampe Archangeau, mais il est plus régulier et moins sujet à se déranger. Cette lampe a été très employée en Belgique.

Cette lampe n'est plus usitée, mais ses grandes qualités et en particulier sa simplicité de construction se retrouvent dans la lampe différentielle Jaspard. L'appareil est renversé, c'est-à-dire que tout le mécanisme assez court du reste se trouve placé à la partie supérieure. Au lieu d'un électro, il y en a deux agissant chacun comme dans l'appareil précédent sur une armature se déplaçant à l'intérieur de l'électro. La lumière fournie est très blanche et d'une fixité parfaite.

Le nombre des régulateurs en série est très considérable; il comporte en effet tous les appareils imaginés au début de l'éclairage électrique; mais la plupart d'entre eux ont pu, sans grande modification, être transformés en régulateurs différentiels, les autres ont disparu; aussi est-il inutile de s'étendre davantage sur la description des appareils de ce groupe.

---

### 3° RÉGULATEURS EN DÉRIVATION.

Ces régulateurs comme les précédents ne comportent qu'un électro, mais il est parcouru par une dérivation du courant. Le plus souvent il sert à produire le rapprochement des crayons en marche et le contact à l'allumage. Au repos, ces derniers s'écartent sous l'action de la pesanteur ou de tout autre mécanisme. Lorsque le courant vient à passer, le solénoïde excité agit sur les porte-charbons et les rapproche. Le contact établi, les forces antagonistes interviennent pour produire l'écartement. Cet électro mis en dérivation sur le circuit des charbons a pour but de maintenir le voltage constant entre ces derniers, ce qui est nécessaire lorsque les lampes sont montées en série sur le même circuit (fig. 137).

Le nombre des régulateurs appartenant à cette catégorie est assez limité.

**Régulateur Mondos.** — Il convient de citer en première ligne le régulateur Mondos. Dans cette lampe le charbon négatif est fixe, d'où

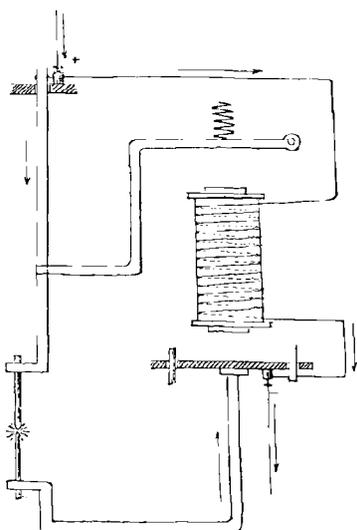


Fig. 137. — Régulateur en dérivation.

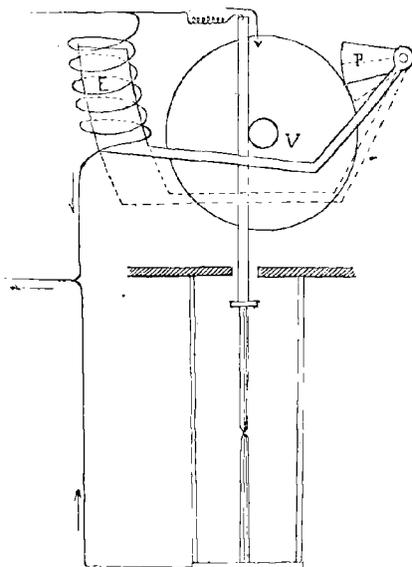


Fig. 138. — Régulateur Briante.

il résulte que le point lumineux est variable. Le charbon positif est placé à l'extrémité d'un bras de levier horizontal, dont l'autre supporte un

contrepoids, qui au repos produit l'écartement des charbons. Le solénoïde a son noyau fixé au bras de levier horizontal du même côté que le porte-charbon positif.

Lorsque le courant passe, le noyau dans le champ de l'électro est attiré produisant le contact indispensable à l'allumage. Le fonctionnement est identique à celui indiqué plus haut. Le réglage de l'appareil se fait au moyen du contrepoids antagoniste que l'on peut déplacer le long du bras de levier. Pour empêcher les mouvements trop brusques, un frein à air commandé par l'électro ralentit les oscillations du levier. Le fonctionnement de cette lampe est très régulier.

**Régulateur Brianne.** — Il en est de même de celui de la lampe Brianne. L'organe principal est un volant assez lourd rendu solidaire du porte-charbon supérieur par l'intermédiaire d'un pignon et d'une crémaillère.

Une dentelure ménagée sur le volant engrène avec un secteur denté commandé par le noyau lamellé du solénoïde excité par une dérivation du courant (fig. 138).

Au repos le noyau sollicité par la pesanteur abandonne le solénoïde ; il fait tourner le volant et par suite le pignon de manière à écarter les charbons. Lorsque le courant passe, le solénoïde attire le noyau et assure le contact des charbons. Le courant principal étant établi, le solénoïde abandonne l'armature qui produit l'écart des crayons pour l'amorçage. Le jeu ordinaire des variations se reproduit, mais avec une particularité intéressante. Lorsque la résistance de l'arc est très considérable, c'est-à-dire au moment où le solénoïde atteint son maximum d'excitation, le noyau enfoncé à fond dans l'électro est à bout de course ; à ce moment le secteur abandonne le volant, mais par suite de sa grande masse ce dernier est entraîné faiblement par le poids du porte-charbon à crémaillère, il en résulte que le solénoïde se trouve influencé bien avant que le rapprochement des charbons soit trop considérable. Cette lampe très simple et très sensible sans organe délicat fonctionne très bien avec les courants alternatifs. Elle a été essayée à Paris, aux magasins du Louvre et au Havre. Dans les deux cas on avait affaire à des courants alternatifs.

**Régulateur dynamo Bréguet.** — C'est au groupe des régulateurs en dérivation qu'appartient une série de lampes dans lesquelles

une petite *dynamo* remplace le solénoïde des appareils précédents. Le fonctionnement est sensiblement le même. L'induit de la *dynamo* étant excité par le courant total de l'arc ou par une dérivation donne naissance à un couple qui tend à produire le mouvement des crayons. Ce mouvement est contrebalancé par une force antagoniste due à la pesanteur ou à tout autre mécanisme. En général dans ces lampes, l'action de l'organe de réglage est continue.

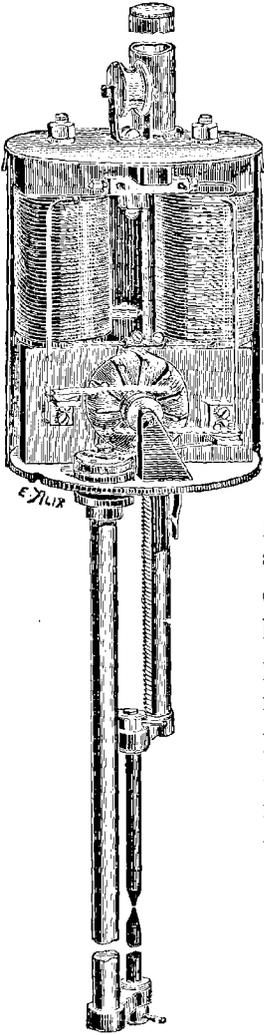


Fig. 139. Régulateur *Bréguet*.

Le nombre des régulateurs *dynamos* est assez considérable, il convient de citer un modèle assez répandu en France : la lampe *Bréguet*. Le porte-charbon supérieur assez lourd engrène avec un pignon calé sur l'arbre d'une petite *dynamo Gramme* en série parcourue par le courant principal de l'arc. Le rapprochement des crayons est dû à la pesanteur dont l'action est permanente. La *dynamo* dont le mouvement varie avec l'intensité du courant tend à les écarter. Dans cette lampe, le crayon négatif étant fixe, le point lumineux se déplace. On peut régler la lampe pour des intensités diverses en déplaçant une masse de fer doux dans le voisinage des pièces polaires de la *dynamo*. Ce régulateur qui se monte en dérivation est éminemment simple et robuste. L'action de l'appareil de réglage est continue (fig. 139).

La lampe *Bréguet* a servi de modèle à plusieurs régulateurs *dynamos* et en particulier au régulateur *Thury* qui peut se monter en série, condition à laquelle ne satisfait pas la lampe précédente.

**Régulateur *dynamo Maquaire*.** — Une autre lampe, basée sur le même principe, est celle de M. *Maquaire*, désignée aussi sous le nom de lampe *Alpha*.

Le petit moteur a son anneau denté, genre *Paccinotti*. L'inducteur, en fer à cheval, est excité par le courant de l'arc; le circuit est enroulé deux

fois sur chacune des branches. L'un des balais est réuni à la fin du premier enroulement, l'autre est relié à une lame mobile entre deux butoirs : le premier communiquant avec le commencement du fil de l'inducteur, le second avec sa sortie. On comprend aisément que, suivant le butoir auquel aboutit la lame, le courant parcourt l'inducteur, dans un sens ou dans l'autre, produisant ainsi le rapprochement ou l'écart des crayons par l'intermédiaire d'une roue dentée.

La lame mobile est reliée à l'armature d'un électro régulateur, monté en dérivation ou en série sur le circuit de l'arc. Le solénoïde de cet électro entoure un noyau, replié parallèlement sur lui-même, et sur lequel l'armature est fixée par un ressort très court. L'attraction sur l'armature peut être modifiée, car la partie du noyau dans la bobine est en deux parties, pouvant se rapprocher ou s'écarter au moyen d'une vis. Suivant que l'action sur l'armature de l'électro ou du ressort prédomine, la lame mobile aboutit à l'un ou à l'autre butoir. Il résulte du mouvement même de cette lame, que l'action de réglage du courant se fait d'une manière intermittente.

Cette lampe comporte plusieurs détails importants. Les surfaces polaires de l'inducteur ne sont pas concentriques à l'anneau ; elles sont plus rapprochées vers le milieu, ce qui augmenterait la sensibilité. La culasse du fer à cheval présente une solution de continuité, remplie par un coin en fer dans lequel pivote l'axe de l'anneau. Ce coin peut pivoter à son tour, sous l'influence d'un ressort, autour d'un axe parallèle à cette tige, de manière à débrayer l'anneau dès que le courant descend au-dessous d'une certaine intensité ; toute la transmission, n'étant plus maintenue, tourne alors sous l'action du poids des charbons, qui tendent à se rapprocher, et à veur en contact dès que le courant a cessé de passer.

Cette lampe est disposée de manière à fonctionner avec deux ou quatre charbons, suivant la durée de l'éclairage.

D'après le mode d'excitation en série ou en dérivation de l'électro de réglage, cette lampe a le caractère des régulateurs en dérivation ou différentiels, dont la description va suivre ; cette disposition a comme conséquence de pouvoir la monter en dérivation ou en série suivant les besoins.

#### 4<sup>o</sup> RÉGULATEURS DIFFÉRENTIELS

Dans les appareils précédents, le rapprochement et l'écart des charbons sont obtenus au moyen d'un seul électro et de mécanismes spéciaux. Siemens a imaginé de remplacer l'action de ces derniers par celle d'un nouvel électro. La lampe possède alors deux électros-aimants, l'un à gros fil, l'autre à fil fin; elle porte le nom de *lampe différentielle*. Le premier des électros sert à produire l'écartement des crayons; il est parcouru par le courant total qui alimente l'arc; le second, au contraire, est monté en dérivation sur le courant principal. Lorsque la lampe fonctionne à la longueur d'arc voulue, les champs produits par chacun des solénoïdes ont des actions identiques et s'équilibrent. Si la résistance de l'arc vient à augmenter, l'intensité du courant dans le circuit à gros fil vient à diminuer, le champ magnétique de l'électro à fil fin l'emporte et rapproche les charbons. Ils agissent à la manière de deux forces se faisant équilibre à l'extrémité des bras d'un levier. Lorsque l'une d'elles vient à diminuer, l'autre agit sur le levier. Ce mode de régulation très simple a comme conséquence de donner à l'arc toujours la même longueur, et par suite la même résistance. Il permet le montage des lampes en série, car les variations de l'une d'elles n'influent en rien sur la marche des autres.

Il semble que le fonctionnement de ces lampes devrait se faire sans avoir recours à l'intervention d'autres organes : il n'en est rien. Elles sont construites pour un courant déterminé; mais, comme pour leur réglage il est difficile d'agir sur l'enroulement des deux solénoïdes, on est obligé d'ajouter des ressorts, des freins, ou autres appareils faciles à manœuvrer. Les lampes différentielles diffèrent entre elles par la nature de ces organes complémentaires, car la marche générale est sensiblement la même dans toutes.

**Lampe Gramme.** — L'un des plus anciens régulateurs différentiels est celui de Gramme : il date de 1861. Dans cet appareil, l'électro-aimant à gros fil se trouve placé à la partie supérieure de la lampe, et à l'intérieur d'un cadre supportant le crayon négatif. Le côté supérieur de ce cadre forme l'armature de cet électro; deux ressorts le maintiennent soulevé au repos, en produisant le contact des charbons. Lorsque le courant vient à passer, le cadre, vivement attiré dans le bas par

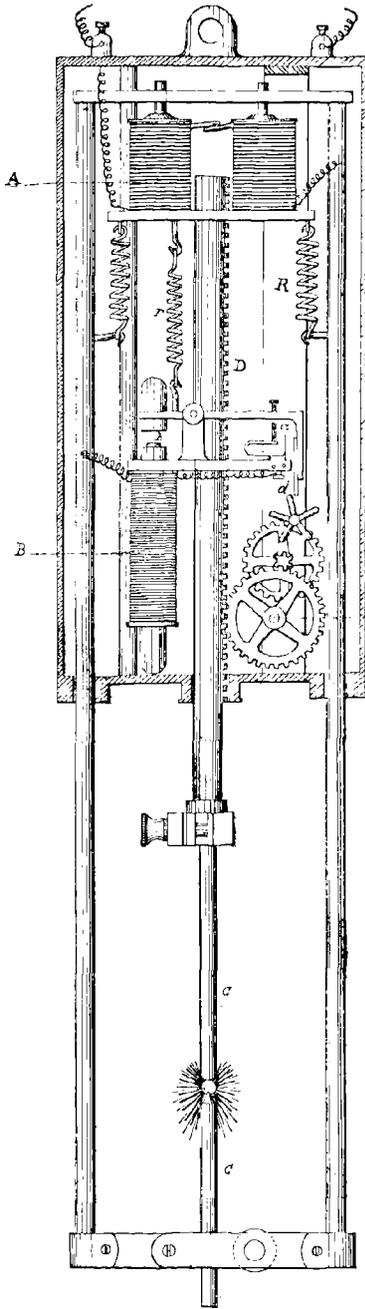


Fig. 140. — Régulateur Gramme.  
 A, Electro à gros fil ; — B, électro à fil fin ;  
 c, c, crayons ; — D, crémaillère du positif ;  
 O, roue dentée soulevant la crémaillère D ; —  
 R, ressorts antagonistes produisant le rappro-  
 chement des charbons ; — a, vis assurant le  
 passage intermittent du courant dans l'électro  
 B ; — d, armature de cet électro ramenée par le  
 ressort r ; — d, moulinet servant à arrêter le  
 mouvement de descente de la crémaillère.

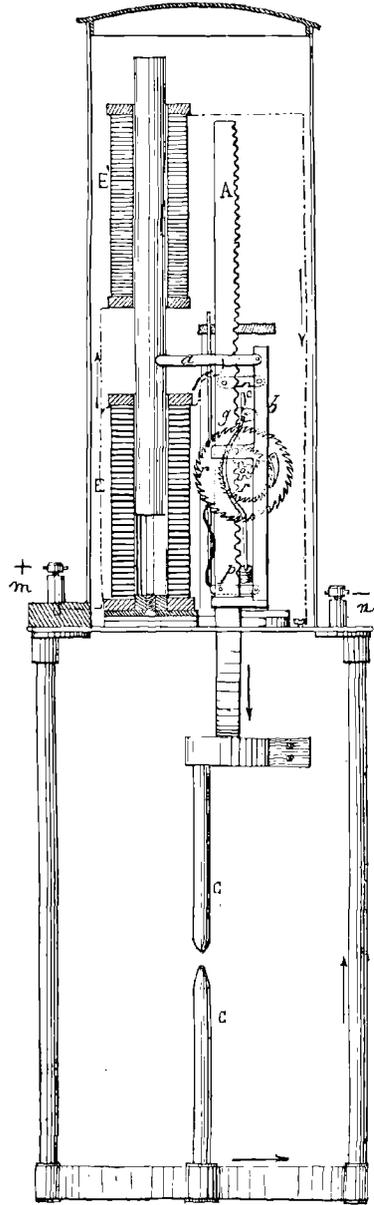


Fig. 141. — Régulateur Siemens.  
 E, E, électro à gros fil et à fil fin ; — A, cré-  
 maillère du crayon positif C ; — a, levier de l'ar-  
 mature des électros agissant par l'intermédiaire  
 du cadre b sur la crémaillère A ; — p, pendule  
 dont le cliquet g correspondant à la roue à ro-  
 chet r régularise l'écart des charbons ; — sui-  
 vant la position qu'il occupe par rapport à  
 l'encoche o, le pendule est fixe ou mobile ; —  
 m, n, prises de courant.

l'électro, amène le recul à l'allumage. C'est alors qu'intervient l'électro à fil fin pour rapprocher les charbons d'après leur usure. Son armature constitue la branche d'un levier, dont l'autre branche enclenche un petit volant qui, par l'intermédiaire de plusieurs roues dentées, engrène avec la crémaillère du charbon positif. Le volant étant libre, cette tige descend par son propre poids, et rapproche les crayons. Le mouvement de descente doit être très lent; aussi l'action de l'électro est intermittente. Le courant lui arrive par la branche du levier correspondant au déclenchement. Une vis, montée sur cette branche appuyée sur un ressort maintenu sur l'électro (fig. 140) et assure le contact.

Lorsque le levier abandonne le moulinet, la vis se trouve séparée du ressort, et le courant est rompu; l'électro-aimant n'agissant plus, le levier reprend sa position primitive et le défilage du crayon est arrêté. Le contact étant rétabli, la même manœuvre recommence. Ce régulateur est très sensible, mais il fait entendre un bruit désagréable dû à l'encliquetage des pièces. Aussi, dans les nouveaux régulateurs le volant étoilé est remplacé par un frein agissant sur une roue lisse.

Il y a un inconvénient grave, celui de l'usure rapide des pièces de contact due à l'étincelle de rupture du courant.

**Lampe Siemens.** — La maison Siemens, outre son régulateur en série, a construit le premier régulateur différentiel. Les deux électros sont placés dans le prolongement l'un de l'autre; l'armature verticale se déplace suivant l'axe de ces solénoïdes et agit à l'extrémité d'un bras de levier, dont l'autre bras supporte le crayon positif seul mobile, ce qui rend le point lumineux variable. L'électro à gros fil est parcouru par le courant de l'arc, celui à fil fin, qui occupe la partie supérieure, est excité par une dérivation prise sur les bornes de la lampe (fig. 141).

Au repos, les charbons sont en contact; le courant venant à passer l'électro à gros fil est fortement excité, il attire l'armature, et produit l'écartement des charbons. Lorsque la résistance de l'arc devient trop considérable, c'est l'électro à fil fin qui agit, et qui en attirant à son tour l'armature amène la descente du charbon mobile.

Mais, comme toujours, il n'est pas possible de se contenter d'un mouvement aussi simple, il faut faire intervenir l'action d'organes régulateurs. A cet effet, le porte-charbon positif est réuni au levier par un parallélogramme articulé. Il est fixé en outre à une crémaillère, sur

laquelle agit par l'intermédiaire d'un pignon, une roue à échappement dont le cliquet met en mouvement une tige formant pendule. Dans la position normale, aucune pièce ne peut se déplacer, car la roue et l'échappement sont arrêtés par suite de la fixité du pendule dont le prolongement supérieur est engagé dans une entaille ménagée sur un levier articulé lui-même sur le parallélogramme.

Ce mécanisme agit par intermittence pour permettre le rapprochement des charbons. Quand le solénoïde à fil fin soulève l'armature, le parallélogramme est déformé et le pendule mis en liberté. Dès lors, le charbon positif peut descendre, et ses mouvements sont modérés par suite de l'échappement du pendule, qui, à chaque dent, ralentit la rotation de la roue dentée. Lorsque les charbons sont suffisamment rapprochés, le solénoïde à gros fil remet le parallélogramme dans sa position primitive et enclenche la partie supérieure du pendule empêchant ainsi tout mouvement du porte-charbon positif.

Le régulateur Siemens comme le précédent, a un fonctionnement très régulier, mais son mécanisme compliqué en fait un appareil très délicat qu'on tend à remplacer par d'autres plus simples.

**Lampes Cance.** (*Modèle 1881*). — Une lampe très répandue en France, est celle de M. Cance (1881). Construite d'abord pour fonctionner en série, c'est-à-dire avec l'électro de réglage sur le circuit du régulateur, cette lampe a été modifiée de manière à devenir différentielle. Dans cette première transformation, le principe est resté absolument le même.

La pesanteur produit le rapprochement des charbons. L'organe principal est une vis tournant autour de son axe sans avancer, elle porte deux écrous qui au contraire peuvent se déplacer le long de cette vis. L'écrou inférieur (fig. 142) désigné plus spécialement sous le nom d'écrou moteur, supporte au moyen de deux tringles le charbon positif. Par l'intermédiaire de poulies de renvoi, il agit sur le charbon négatif, les rayons sont établis de façon que le déplacement de ce dernier soit la moitié du positif et, comme ils ont le même diamètre, il en résulte que le point lumineux reste fixe. On peut toutefois, en changeant les rayons des poulies, utiliser des crayons dont l'usure linéaire est la même. Le deuxième écrou placé à la partie supérieure vient frotter contre un plateau supporté par les tiges prolongées de deux morceaux de fer doux qui se déplacent à l'intérieur de deux solénoïdes excités en série par le

courant total de la lampe. Deux ressorts servent à équilibrer l'action des noyaux. Ce sont ces divers organes qui en règlent le fonctionnement.

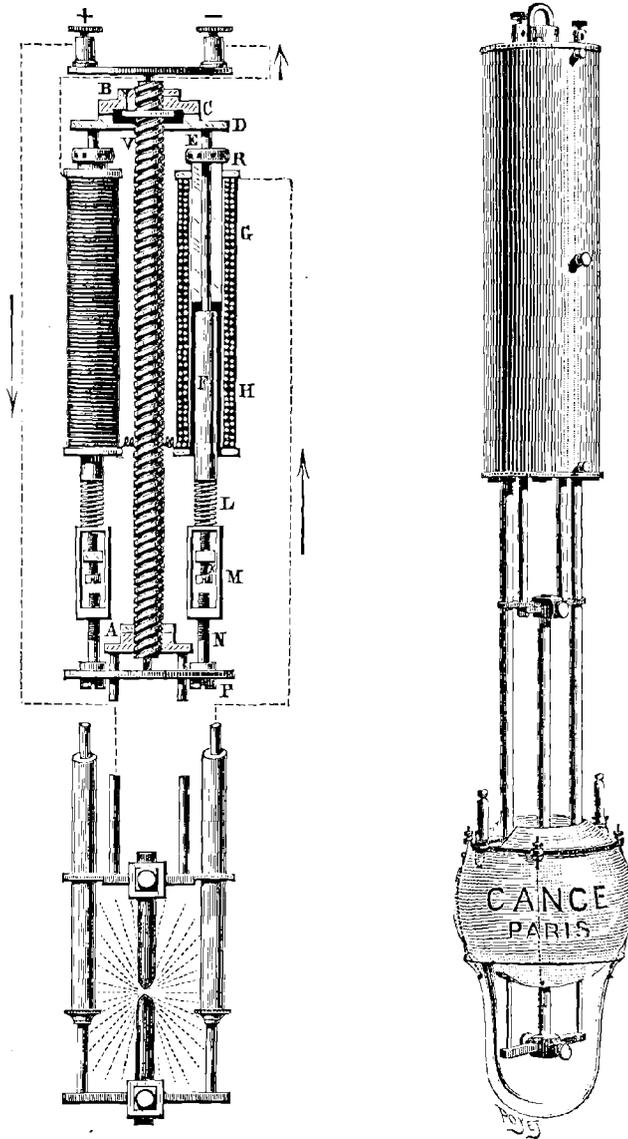


Fig. 142. — Lampe Cance (modèle 1881).

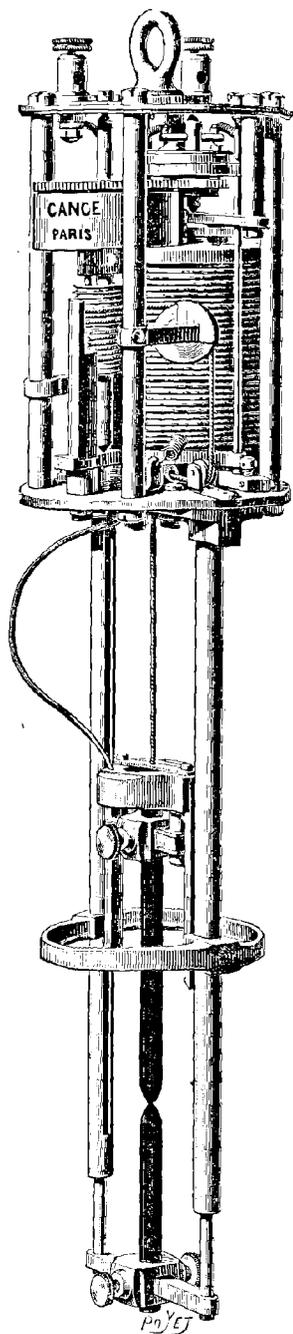
A, écrou moteur; — B, écrou de réglage; — C, plateau calé sur la vis V limitant la descente de l'écrou B; — D, plateau annulaire fixé aux noyaux des solénoïdes H par l'intermédiaire des tiges E; — H, bobines des électro montées en série ou en dérivation sur le circuit de l'arc; — G, noyaux fixes des solénoïdes; — L, ressorts de réglage mus par les vis N au moyen des cadres M.

Lorsque le courant ne passe pas, les charbons viennent en contact entraînés par l'écrou qui les supporte. En descendant, cet écrou fait tourner la vis, rien ne s'oppose à ce mouvement, les noyaux de fer doux étant ramenés dans le bas par les ressorts correspondants. Quand le courant vient à passer, les noyaux attirés dans les solénoïdes soulèvent le plateau et par suite l'écrou supérieur qui, dans son mouvement ascensionnel, fait tourner la vis, celle-ci à son tour remonte l'écrou inférieur. Il y a écart et par suite production de l'arc. A partir de ce moment, le mouvement dépend de l'antagonisme entre l'action des solénoïdes et le poids de l'écrou inférieur ; le réglage se fait par l'adhérence de l'écrou supérieur contre le plateau correspondant. Pour diminuer le frottement les écrous ne sont pas taraudés, ils sont munis intérieurement de goujons légèrement coniques pénétrant dans les filets de la vis. Le mouvement des crayons, quoique n'étant pas continu, est cependant très régulier, il en résulte pour la lumière une fixité remarquable.

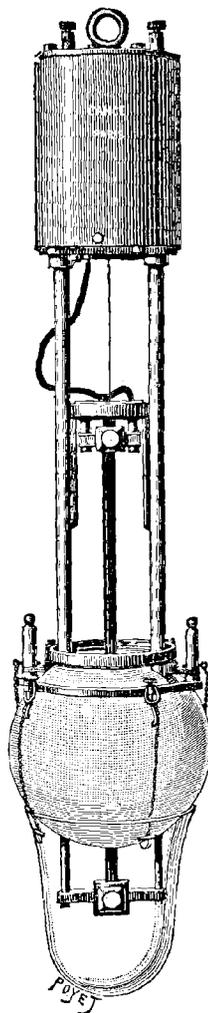
Suivant le mode d'excitation des électros, la lampe constitue un régulateur en série ou différentiel.

(*Modèle 1892*). — Dans un modèle nouveau, M. Cance a cherché à simplifier encore cette lampe et à lui donner en même temps des dimensions plus réduites. Le rapprochement des charbons est dû à la pesanteur, comme dans le modèle primitif, sauf que son action est plus énergique et par suite plus rapide. Dans ce but, le crayon positif est surchargé d'un contrepoids glissant entre deux tiges de guidage. Ce crayon en descendant soulève le négatif, au moyen d'un cordonnet s'enroulant sur deux tambours à vis. Le tambour correspondant au crayon positif a un diamètre double de celui du négatif, il en résulte que la marche du premier est double de celle du second, et comme les charbons ont le même diamètre, le point lumineux reste fixe. Des galets de guidage amènent le cordonnet tangentiellement aux spires des tambours, et un taquet fixe, le force à monter ou à descendre le long de l'axe de rotation.

Il n'y a qu'un électro à deux enroulements, l'un à gros fils, l'autre à fil fin, la dérivation de ce dernier est prise aux bornes de la lampe. L'intérieur de l'électro comporte deux noyaux de fer doux, l'un fixe, l'autre mobile. Ce dernier, placé à la partie inférieure, supporte, au moyen de deux tiges, un plateau horizontal qui vient agir contre un deuxième plateau, monté à frottement doux sur un axe de rotation et portant sur sa face supérieure deux cônes métalliques. Ce dernier pla-



Vue intérieure de la lampe



Ensemble de la lampe

Fig. 143. — Lampe Cance (modèle 1892).

teau joue le même rôle que l'écrou régulateur dans la lampe précédente, c'est-à-dire qu'il tend à écarter les charbons. A cet effet, les deux parties coniques viennent buter contre une barrette calée sur l'arbre de rotation mis en relation au moyen de deux pignons avec l'arbre des tambours des crayons (fig. 143).

Les charbons étant en contact, lorsque le courant passe, le noyau de fer doux, vivement attiré, soulève les deux plateaux et force, au moyen des deux petits cônes, la barrette à tourner ; elle entraîne dans son mouvement de rotation le pignon correspondant qui en agissant sur celui des tambours des crayons produit l'écartement. Si cet écartement devient trop considérable, le champ magnétique du solénoïde n'ayant plus la même intensité, l'armature descend et les plateaux se séparent ; la pesanteur peut alors agir librement pour produire le rapprochement des charbons. L'adhérence entre les deux plateaux forme frein et agit progressivement. Pour empêcher la descente des crayons, due à la pesanteur, d'être trop rapide, l'électro porte à sa partie supérieure un épanouissement polaire qui aimante par induction le pignon calé sur l'arbre des tambours, et ralentit en conséquence le mouvement de ce dernier.

Cette lampe, d'un fonctionnement très régulier, est construite avec beaucoup de soin ; l'isolement électrique des diverses pièces est assuré d'une manière complète. Les charbons ont le même diamètre, ce qui oblige à donner au positif une longueur double du négatif. Le globe et les porte-charbons avec vis de serrage ne présentent rien de particulier. Les lampes les plus employées sont celles de 6 à 8 ampères. Elles sont moins hautes que les premières, mais, à ce point de vue, elles sont inférieures à la lampe Japy.

**Lampe Japy.** — Dans cette lampe, à point lumineux fixe, le rapprochement des crayons a lieu sous l'action de la pesanteur ; un mouvement d'horlogerie commandé par les électros régularise cette action et produit l'écartement des crayons à l'allumage.

Les deux charbons sont réunis par une chaîne de Galle, s'engageant sur une roue dentée engrenant avec un mouvement d'horlogerie à échappement à ancre. Une bielle réunit ce mouvement oscillant autour d'un axe à un balancier supportant les noyaux des deux électros. Le solénoïde à gros fil a pour effet d'enclencher le mouvement d'horlogerie en engageant dans l'encoche, dont est munie l'ancre à sa partie supérieure, une pointe fixée à la plaque réunissant les électros. Le solénoïde à fil fin, au contraire, branché sur les bornes de la lampe, déclenche les

ailettes de l'ancre et permet à la roue que commande la chaîne de tourner sous l'action de la pesanteur. Un ressort mû par une vis extérieure permet de régler l'action du balancier et de le placer pendant le non fonctionnement de l'appareil de manière à avoir le mouvement enclenché, c'est-à-dire à avoir les charbons séparés (fig. 144).

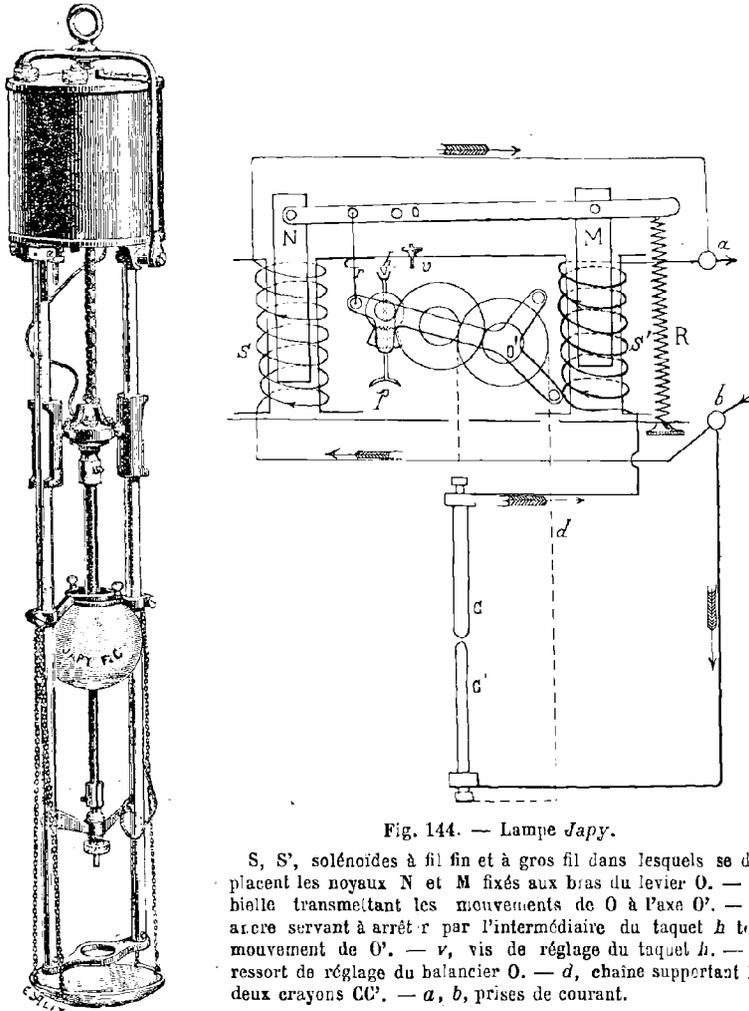


Fig. 144. — Lampe Japy.

S, S', solénoïdes à fil fin et à gros fil dans lesquels se déplacent les noyaux N et M fixés aux bras du levier O. — r, bielle transmettant les mouvements de O à l'axe O'. — p, ancre servant à arrêter r par l'intermédiaire du taquet h tout mouvement de O'. — v, vis de réglage du taquet h. — R, ressort de réglage du balancier O. — d, chaîne supportant les deux crayons CC'. — a, b, prises de courant.

Cette lampe rappelle, comme principe, celle de Siemens dont elle a du reste les avantages et les inconvénients.

Au repos, les crayons sont écartés et le noyau de l'électro à gros fil

enfoncé complètement empêche par l'intermédiaire du balancier et de la bielle tout mouvement de l'ancre. Lorsque le courant passe, le noyau du solénoïde à fil fin, vivement attiré, déclenche le mouvement qui se met en marche sous l'action d'une masse surmontant le charbon positif; les crayons viennent en contact. Le courant pouvant passer par l'électro à gros fil, tout le mouvement d'horlogerie est soulevé en faisant tourner la roue dentée et, par suite, la chaîne de Galle, de manière à produire l'écart des charbons. Lorsque la résistance devient par trop grande, l'électro à fil fin, l'emportant à son tour, permet de nouveau le rapprochement des crayons.

Cette lampe, outre la faible hauteur de son mouvement de réglage, présente l'avantage d'avoir un globe de petit diamètre, 60 millimètres, qui permet la mise en place des charbons sans avoir à l'enlever. Les porte-charbons peuvent tourner autour de leurs glissières, ce qui rend leur orientation facile. La construction de ces lampes est faite d'une façon spéciale, toutes les pièces sont construites mécaniquement de manière à être interchangeables, comme dans les lampes américaines. L'isolement électrique est assuré d'une façon complète pour éviter toute dérivation inutile. L'intensité de ces lampes, qui conviennent plus particulièrement pour l'éclairage intérieur, varie de 2,5 à 12 ampères.

**Lampe Dulait.** — Enfin, pour terminer la série des lampes différentielles à engrenages, il convient de citer le régulateur Dulait, très usité en Belgique. Il est à deux électros; celui à gros fil détermine l'allumage, l'électro à fil fin, monté en dérivation, produit le réglage. Les deux crayons sont mobiles; le porte-charbon supérieur transmet son mouvement au porte-charbon inférieur, par l'intermédiaire de deux vis sans fin et de deux pignons.

A l'allumage, les deux crayons sont en contact aussitôt que le courant s'établit, l'électro en série attire son armature à laquelle est lié le porte-charbon positif: l'arc est amorcé. Lorsque la résistance devient trop considérable, l'électro en dérivation intervient pour permettre le rapprochement. A cet effet, la vis sans fin correspondant au crayon négatif met en mouvement un disque placé dans le haut de la lampe et dont la rotation se transmet à une roue en étoile enclenchée par un taquet porté par l'armature de l'électro en dérivation. Lorsque le courant devient plus intense dans ce dernier, l'armature est attirée déclenchant ainsi la roue étoilée qui permet la descente des crayons rappro-

chés par la pesanteur. Toutefois, comme ce rapprochement doit se faire lentement, à chaque déclenchement d'une dent de la roue, le courant est rompu dans l'électro à fil fin et ce n'est qu'en reprenant sa position primitive que l'armature referme le circuit. Ce régulateur, a point lumineux fixe et dont le principe rappelle celui de Gramme, fonctionne assez bien, quoique l'action de réglage ne soit pas continue.

De construction assez robuste, il a été établi pour marcher avec une ou deux paires de charbons de manière à avoir une durée d'éclairage variant de huit à seize heures.

**Lampe Piéper.** — Au lieu de recourir à des engrenages pour produire le ralentissement du mouvement des charbons, Bürgin avait imaginé d'employer une poulie sur laquelle on pouvait faire agir un frein commandé par un électro. Ce principe a été appliqué depuis à un grand nombre de régulateurs.

Dans la lampe Piéper, la poulie formant frein est placée à la partie supérieure. Sur la gorge de cette poulie s'engage un cordonnet en soie supportant les deux tiges des porte-charbons ; le point lumineux est fixe. Le mécanisme de cette lampe est assez original.

Les deux solénoïdes à fil fin et à fil gros sont enroulés en sens inverse sur un même barreau de fer doux, dont les épanouissements polaires très larges sont percés de trous pour le passage des tiges des porte-charbons. Chacun des fils du solénoïde se prolonge ensuite sur l'une des tiges, et le sens de l'enroulement change vers le milieu de manière à présenter un pôle conséquent en cet endroit.

Au début, les charbons sont en contact, lorsque le courant passe, l'électro excité par le solénoïde à gros fil, donne un champ magnétique d'un certain sens qui agit sur les porte-charbons correspondants et produit l'écartement des crayons. Lorsque la résistance devient trop considérable, le fil fin en dérivation l'emporte, le champ de l'électro change de sens et en agissant à son tour sur les pôles des solénoïdes mobiles amène le rapprochement des crayons. Quand la lampe fonctionne à la longueur d'arc déterminée, les champs produits par les enroulements s'annulent (fig. 145).

Les mouvements des charbons sont modérés par l'action du frein qui oscille autour d'un excentrique fixé par une vis sur la chape de la poulie. Lorsque les charbons se rapprochent, le frein dont le rayon va en augmentant n'agit pas. Le contraire a lieu, s'ils viennent à s'écarter ;

la poulie tourne en sens inverse, et entraîne avec elle, au moyen d'une dentelure, le frein dont le rayon d'oscillation allant en diminuant, empêche toute rotation. Il exerce alors une pression d'autant plus grande, que l'écart tend à être plus brusque. Cette lampe exige beaucoup de soin dans sa construction, l'enroulement des solénoïdes mobiles est protégé par une enveloppe métallique en laiton; des galets placés au nombre de deux assurent le guidage des porte-charbons.

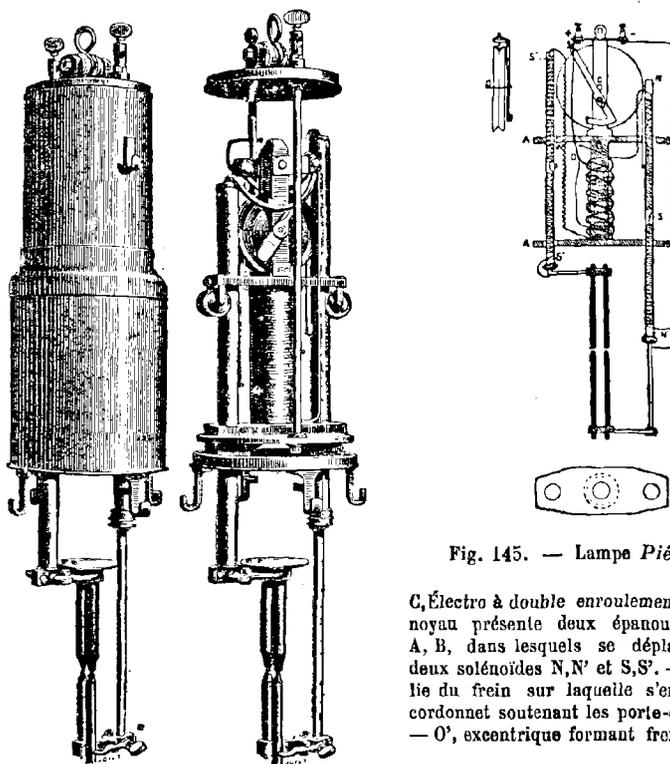


Fig. 145. — Lampe Piéper.

C, Électro à double enroulement dont le noyau présente deux épanouissements A, B, dans lesquels se déplacent les deux solénoïdes N, N' et S, S'. — O, poulie du frein sur laquelle s'enroule le cordonnet soutenant les porte-charbons. — O', excentrique formant frein.

Une chemise en tôle protège tout le système contre la poussière. Cette lampe a été établie dans bien des cas pour fonctionner avec deux ou trois paires de crayons parallèles permettant de prolonger la durée d'éclairage. Au moment de l'allumage, une seule paire de crayons est au contact, quand leur usure est telle que les autres charbons viennent à se toucher, un nouvel arc se forme entre ces derniers. L'arc passe ainsi d'une paire de charbons à l'autre, toutes les fois qu'une longueur de crayon égale à celle de l'arc se trouve consommée. Ce changement est très sensible à la vue, aussi cette disposition ne convient-elle qu'en plein air,

où la fixité de la lumière a moins d'importance. Cette observation s'applique du reste à toutes les lampes à plusieurs paires de crayons. Les charbons sont enfermés dans un fort globe en verre, qui vient se fixer au corps de la lampe. Les porte-charbons sont munis de crochets avec vis de serrage assez faciles à manœuvrer.

**Lampes Bardon.** — Comme dans la lampe précédente, l'appareil de réglage du régulateur Bardon est constitué par une poulie avec frein. Il existe deux modèles de lampes Bardon : l'un de 1888 et l'autre de 1891.

*(Modèle 1888).* — Le premier en date n'est autre qu'un régulateur en série. Le solénoïde excité par le courant total de l'arc est traversé intérieurement par un barreau de fer doux qui prend un mouvement ascendant sous l'action du courant. Un ressort antagoniste tend à le ramener vers le bas. Ce noyau agit simultanément à l'extrémité des bras de deux leviers dont l'un forme frein et l'autre sert à l'allumage. A la seconde branche de ce dernier est fixé un cordonnet en soie supportant les deux crayons (fig. 146).

Ce cordonnet s'enroule sur deux poulies dont l'une est mobile et l'autre montée sur l'axe du volant du frein. Ce moufflage permet de donner au crayon positif un déplacement double du négatif.

Au repos, le contact des deux crayons est assuré par le fait même de la pesanteur exerçant son action sur une masse additionnelle du crayon positif. Lorsque le courant vient à passer, le noyau de l'électro vivement attiré cale immédiatement la grande poulie et abaisse le crayon négatif de la quantité nécessaire à la formation de l'arc. Suivant l'intensité du courant, le noyau sollicité par le ressort agit plus ou moins sur le levier pour permettre le défilage du crayon. Le fonctionnement de cette lampe est très régulier, bien que l'action de l'appareil de réglage ne soit pas continue.

*(Modèle 1891).* — Il était tout naturel de trouver, dans sa transformation de régulateur en série en lampe différentielle, des améliorations importantes. Le solénoïde, recouvert de deux enroulements à gros fil et à fil fin, est placé au centre; son noyau mobile n'agit plus que sur un levier qui sert à la fois au calage du volant et à l'amorçage de l'arc. La cordelette en soie, supportant les crayons, s'enroule comme précédem-

ment autour de poulies formant une sorte de moufle; les bouts viennent s'attacher aux deux extrémités du levier (fig. 147).

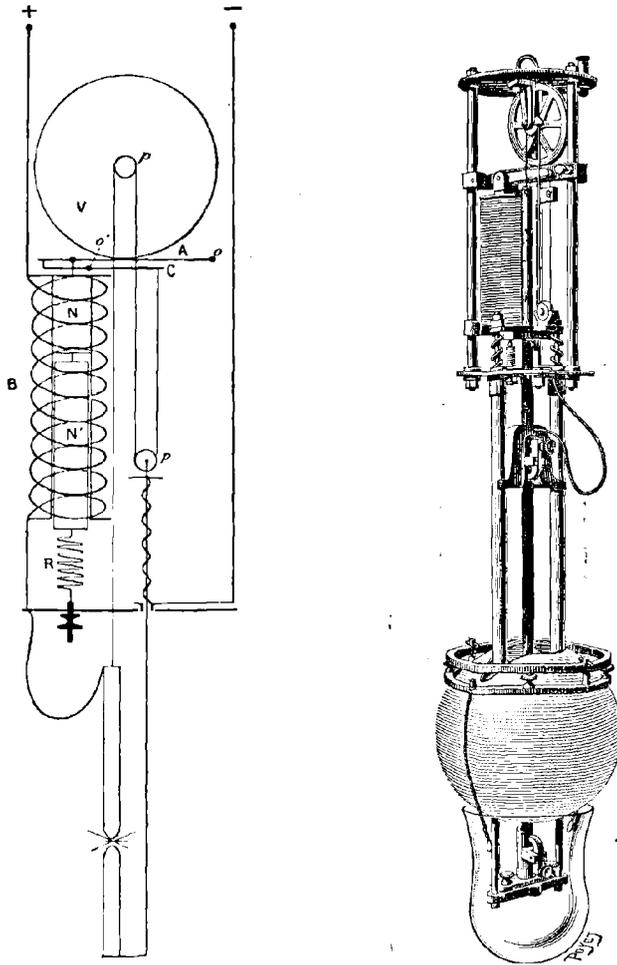


Fig. 146. — Lampe Barjon (modèle 1888).

B, Électro excité par le courant total de la lampe. — N', noyau mobile se déplaçant dans l'intérieur de N et agissant sur les deux leviers A et C, mobiles autour de O et O'. — V, poulie sur laquelle agit le frein A. — R, ressort antagoniste contrebalançant l'action de l'électro B. — p, p, poulies de moufle supportant les porte-charbons.

Le fonctionnement est le même que précédemment. Au repos, les charbons sont amenés au contact par le poids du crayon positif. Lorsque le courant vient à passer, l'électro est excité par le circuit en série, et le noyau est vivement soulevé; il immobilise ainsi le frein en produisant

la séparation des crayons à l'amorçage. L'action de l'excitation en série

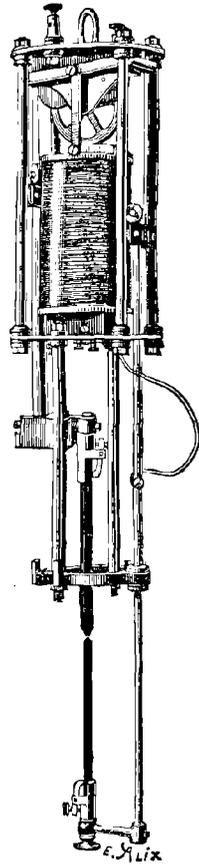
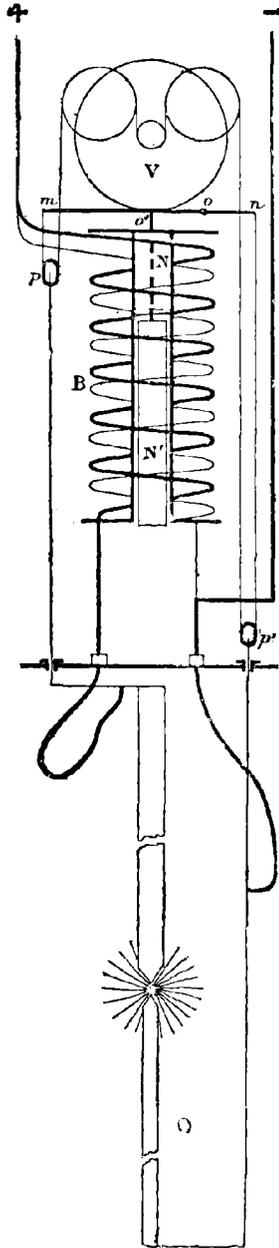


Fig. 147.— Lampe Bardon (modèle 1891)

Électro à double enroulement dans lequel se déplace le noyau mobile F, agissant sur le frein *m n* mobile autour de *O'*. — L'action de *m n* s'exerce sur le volant *V* en *O'*. — *p, p'*, poulies de moufflage soutenant les deux portecarbons.

est diminuée par celle en dérivation, au fur et à mesure de l'augmentation de l'arc, c'est-à-dire de la résistance, jusqu'au moment où elle la

dépasse; le frein desserré permet la descente ou défilage des charbons sous l'action de la pesanteur.

La lampe Bardon nécessite au début un bon réglage; mais, celui-ci une fois atteint, elle fonctionne parfaitement; la lumière présente une grande fixité : c'est une des plus répandues. Il suffit de citer en particulier l'éclairage des grands boulevards à Paris, obtenu avec ce régulateur.

M. Bardon construit également sa lampe avec le mécanisme en dessous, de manière à pouvoir renvoyer la lumière de l'arc vers le haut. Cette disposition convient particulièrement pour certains éclairages, celui d'une filature par exemple.

**Lampe Pilsen.** — Dans toutes les lampes, où la régulation est obtenue au moyen d'un barreau de fer doux, se déplaçant dans l'intérieur d'un électro, le réglage n'est pas continu. Cette inégalité tient à ce que le champ d'un électro n'étant pas uniforme, son action sur le noyau de fer doux varie avec sa position. On a essayé de donner à l'armature une forme spéciale en fuseau, de manière à compenser l'irrégularité du champ. Ce résultat n'est encore qu'approximatif. Il a été appliqué cependant avec succès dans la lampe Pilsen, due à Piette et Krizik.

Aux deux extrémités d'un fil, passant sur une poulie, sont suspendus deux tubes creux en laiton, contenant chacun une armature en fer doux conique, se déplaçant dans l'intérieur d'un solénoïde. Le solénoïde correspondant au charbon positif est à gros fil; celui du crayon négatif est à fil fin.

Le contact des charbons est assuré au début par leur propre poids. Lorsque le courant vient à passer, il agit sur le solénoïde à gros fil qui soulève son armature et produit l'amorçage de l'arc. Lorsque la résistance devient par trop considérable, la dérivation du solénoïde à fil fin agit à son tour et soulève le porte-charbon négatif, c'est-à-dire amène le rapprochement des crayons. La régularité du fonctionnement résulte de l'antagonisme de ces deux électros. L'usure linéaire des deux crayons est la même; le diamètre du positif étant double de celui du négatif, le point lumineux reste fixe (fig. 148).

Dans la disposition adoptée par M. Henrion de Nancy, l'électro à fil fin comporte quelques tours de gros fil et un nombre plus considérable de fil fin. Un troisième circuit réunit le pôle négatif au point de jonction du gros fil et du fil fin. En marche normale, ce circuit est ouvert,

mais il se ferme automatiquement lorsque le courant ne passe plus dans les charbons, c'est-à-dire qu'il permet de réunir directement les pôles

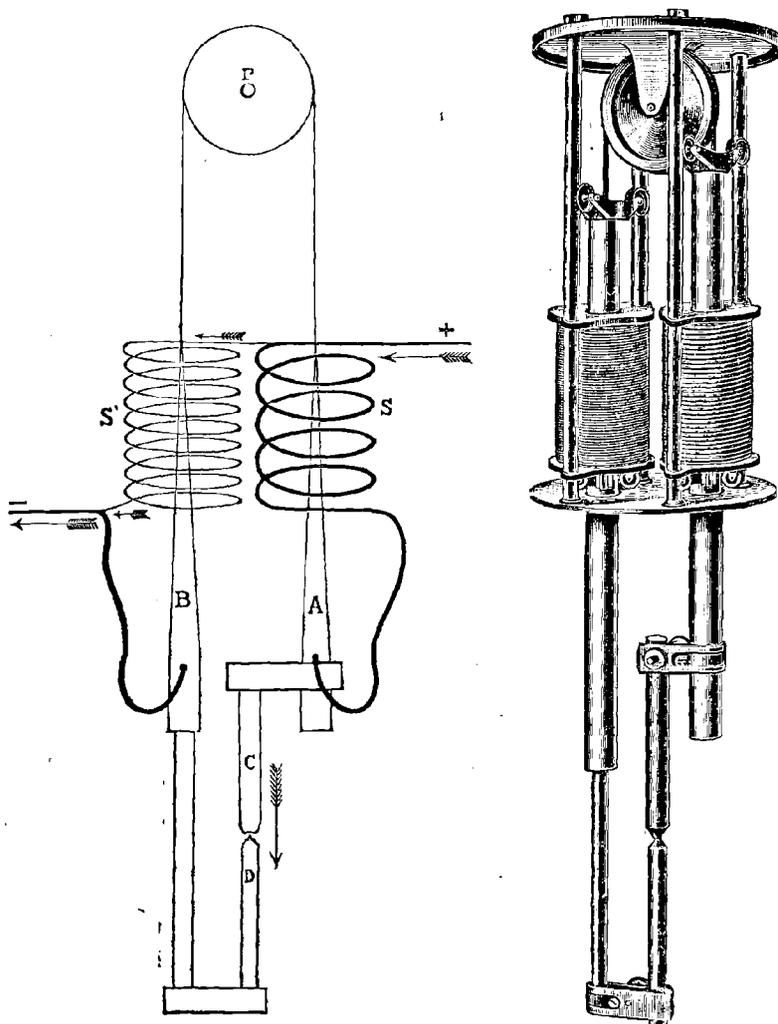


Fig. 148. — Lampo Pilsen.

S S' solénoïdes à gros fil et à fil fin dans lesquels se déplacent les deux noyaux A et B rendus solidaires par un cordonnet s'enroulant autour de P. — C, D, crayons supportés par les noyaux A et B.

de la lampe, condition indispensable dans le montage des régulateurs en série.

Les tubes, contenant les noyaux de fer doux sont guidés dans leur

ascension au moyen de galets glissant sur des tiges de guidage. Un globe en verre dépoli entoure entièrement les crayons ; les porte-charbons sont formés par de simples ressorts d'une manipulation très commode.

M. Henrion construit des lampes depuis 3 ampères. On peut les monter en dérivation avec 52 volts, ou en série avec 42 volts. Pour prévenir toute oscillation de la lumière dans les lampes montées en dérivation, la poulie molletée, sur laquelle est enroulé le cordonnet, est munie d'un frein formé par un cliquet s'opposant au mouvement dans le sens de l'écart des charbons. Ce déplacement ne peut avoir lieu qu'en faisant glisser le cordonnet sur la poulie.

Les lampes Pilsen remarquables par leur simplicité sont assez répandues en Allemagne et en France.

**Lampe Thomson Houston.** — L'emploi d'un frein formé par un volant vertical n'est pas le seul usité. Thomson Houston, dans un régulateur différentiel, très répandu en Amérique et en Angleterre, a imaginé de l'utiliser sous une forme un peu différente.

Dans cette lampe, le charbon négatif est fixe ; le charbon positif tend à descendre par son propre poids. Les deux électros, à fil fin et à gros fil, placés horizontalement, ont la même armature verticale, articulée autour d'un axe horizontal portant une troisième tige formant frein, et pouvant arrêter la descente du crayon positif. Une pompe à air amortit les mouvements de ce frein.

Lorsqu'il n'y a pas de courant, les deux charbons sont en contact ; mais s'il vient à passer, l'armature, attirée par l'électro à gros fil, agit sur le frein et soulève le crayon : l'arc est amorcé. Suivant les oscillations de cette armature, le frein coince, ou abandonne le crayon positif (fig. 149).

Il pourrait se faire que, par suite de frottements anormaux, les crayons ne puissent plus se rapprocher : c'est alors qu'intervient un troisième électro-vertical, qui a pour but de produire ce rapprochement.

Les lampes Thomson Houston, comme du reste tous les régulateurs différentiels, peuvent se monter facilement en série. Dans ce cas, il est nécessaire que l'extinction d'une lampe puisse se produire sans amener l'arrêt de toutes les autres. Ce résultat est obtenu en munissant chaque régulateur d'un petit électro à fil très fin destiné à mettre la lampe en court circuit, c'est-à-dire à avoir ses deux pôles réunis directement. Tant que le courant circule librement dans la lampe, ce petit électro est

sans action, mais si la résistance devient par trop considérable, il agit alors sur son armature qui établit le contact direct. Cet appareil est plus spécialement désigné sous le nom de veilleuse automatique.

Les régulateurs Thomson Houston sont très employés à l'éclairage public. Il suffit de citer l'installation du boulevard de la Madeleine, à Paris, dont tous les appareils sont en tension, la force électromotrice atteint 2.400 volts.

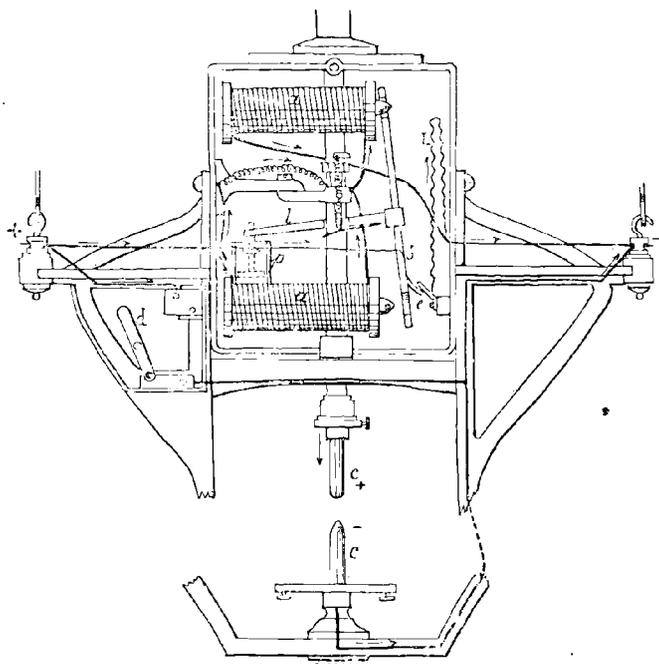


Fig. 149. — Lampe Thomson Houston.

*a, a*, électros à fil fin et à gros fil ayant la même armature *b*. — *l*, frein agissant sur le portecrayon *c*, ses oscillations sont amorties par le piston *p*. — *d*, contact permettant de mettre la lampe en court circuit. — *R*, électro produisant le rapprochement des crayons, lorsqu'il est parcouru par un courant lui arrivant par le contact *e*.

Le nombre des régulateurs différentiels, comme celui des autres types du reste, est très considérable; il est très difficile sinon impossible de les décrire tous. On s'explique aisément cette multiplicité : il suffit en effet d'une modification dans l'un des organes pour donner naissance à un nouvel appareil. Mais la différence d'un régulateur à l'autre n'est pas assez sensible pour donner lieu à une innovation importante. On peut les ramener en réalité à l'un des types examinés précédemment.

### 5° ORGANES DES LAMPES A ARC.

**Mécanisme.** — D'une manière générale les lampes à arc sont des appareils délicats exigeant une attention beaucoup plus grande que les autres appareils d'éclairage ; leurs dimensions considérables les excluent de l'intérieur des habitations ; l'obligation de remplacer les crayons tous les jours, et même une seconde fois dans la nuit, est une sujétion importante, mais tous ces inconvénients sont amplement compensés par la grande intensité lumineuse de l'arc voltaïque.

La force électromotrice étant sensiblement constante, la puissance d'un régulateur dépend donc de l'intensité du courant, il en est de même du reste des dimensions de ses organes. Les intensités les plus souvent admises sont comprises entre 3 et 25 ampères. Au-dessous de 3 ampères la production de l'arc ne présente plus guère d'intérêt. Le rendement lumineux de deux régulateurs particuliers est sensiblement le même, et la différence réside plutôt dans la régularité du fonctionnement, la solidité des organes et la facilité d'entretien. Ces dernières qualités dépendent beaucoup des soins apportés à la fabrication. A ce point de vue, les premiers régulateurs étaient supérieurs aux lampes actuelles, mais la concurrence, et surtout l'obligation d'abaisser de beaucoup leur prix, a forcé les constructeurs à négliger en partie ces détails.

Ces premiers régulateurs en série fonctionnaient généralement bien, mais ils étaient trop compliqués et par suite d'un entretien difficile. La multiplicité des organes délicats, qui entraînent dans leur construction, obligeait à prendre des précautions impossibles à admettre dans un service courant. Si l'on ajoute, en outre, l'impossibilité de les monter en série sur un même circuit, on comprendra aisément que ces régulateurs aient disparu ou aient été modifiés.

Les lampes en dérivation ne présentent pas ce dernier inconvénient, de plus comme elles sont postérieures aux précédentes on les a simplifiées. Le nombre de ces lampes est assez restreint, elles ne correspondent pas à des applications spéciales, et sont employées dans les mêmes circonstances que les lampes différentielles.

Ces dernières sont les plus répandues, on peut en effet les monter isolément ou les grouper en série. Un grand nombre d'entre elles ne sont que des régulateurs primitifs transformés. Ces appareils seraient naturellement plus simples que les précédents, si la régulation pouvait

se faire avec les deux électros seulement. On n'aurait plus à s'inquiéter de la tension des ressorts ou de la position des contrepoids comme dans les autres appareils; mais il n'en est rien. Ce résultat ne peut être réalisé qu'avec un courant parfaitement déterminé, qu'il est presque toujours impossible d'obtenir. Dans ces conditions on est obligé de revenir à l'emploi d'organes spéciaux de réglage, et l'on retombe sur les mêmes difficultés que précédemment.

Quel que soit le type de régulateur, l'écartement des crayons rapprochés par la pesanteur ou tout autre force, est obtenu par un mouvement d'horlogerie, un moteur électrique ou un solénoïde. Le rapprochement se faisant d'une manière très régulière sous l'action d'une force constante, comme la pesanteur par exemple, si, celle qui produit l'écart, l'est également, le réglage sera continu. Mais il n'en est pas toujours ainsi et, dans bien des lampes, l'action de l'organe de réglage ne se fait sentir que par intermittence au moment où la longueur de l'arc a dépassé une certaine limite. Comme dans ce cas les mouvements sont trop brusques, on emploie des organes spéciaux pour en réduire l'effet : cet amortissement peut être obtenu électriquement ou mécaniquement.

D'une manière générale, toutes les pièces doivent être suffisamment puissantes pour vaincre les causes accidentelles de dérangement. Leur marche nécessite alors une absorption d'énergie, qui peut atteindre 10 % de celle de la lampe, ce qui explique en partie l'obligation d'avoir aux bornes du circuit de la lampe 55 à 60 volts bien que l'arc lui-même n'exige que 45 volts environ.

Les lampes à *mouvement d'horlogerie* sont toujours compliquées et nécessitent des réparations fréquentes. Placées en plein air, l'oxydation ou les poussières ne tardent pas à les détériorer; aussi les régulateurs de ce genre ne tendent pas à se développer bien que le fonctionnement en soit très régulier. On peut faire entrer dans la même catégorie les lampes où le nombre des transmissions par engrenages est assez important. Une secousse trop violente, la moindre oxydation les met hors service. Elles sont en outre d'un prix très élevé. L'action de réglage dans ces lampes n'est pas continue.

Les régulateurs *dynamos*, c'est-à-dire ceux dans lesquels le mouvement des crayons est obtenu au moyen de la pesanteur et d'une petite machine électrique, ont un fonctionnement généralement satisfaisant, l'action de réglage y est souvent continue. Dans beaucoup d'entre eux,

au repos, les crayons sont écartés, condition favorable pour la mise en marche des machines à l'allumage.

Enfin dans les lampes où l'avancement des crayons est obtenu au moyen de noyaux se déplaçant dans des *solénoïdes*, on rencontre les appareils les plus simples; quelques-uns produisent le rapprochement des crayons d'une manière continue. Le seul inconvénient qu'ils présentent est leur réglage du début, car il faut que la position relative des deux noyaux reste constante pour que le réglage subsiste; ce résultat est difficile à obtenir. Dans d'autres, il faut faire intervenir un appareil amortisseur ou frein. L'action de ce frein peut être énergique empêchant ainsi toute vitesse exagérée; elle peut procéder également par arrêts successifs; mais quel que soit le système, il doit cependant permettre un mouvement de recul à l'allumage de manière à empêcher les charbons de coller. Quelques lampes à action continue sont munies également d'un frein qui a pour but seulement d'empêcher les charbons de prendre un mouvement oscillatoire à l'allumage.

En général, dans les lampes à solénoïde, les charbons sont réunis l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un cordonnet en soie, dont la longueur varie avec la température ou l'état hygrométrique de l'air. Il arrive souvent en outre que sous l'action d'une trépidation un peu brusque le cordonnet casse; le régulateur doit alors être disposé de manière à en permettre le remplacement rapide. Dans tous les cas, une chaîne métallique serait préférable. Pour des raisons analogues, on doit éviter l'emploi des ressorts de réglage qui à la longue se déforment et perdent de leur élasticité, il vaut mieux se servir de contrepoids avec vis de retenue dont la constance est facile à obtenir.

Les diverses pièces métalliques des lampes se font en laiton et en fonte, sauf pour les noyaux des électros où l'on doit employer le fer doux. Les fils conducteurs sont en cuivre, entourés d'une substance isolante assez résistante.

Lorsque diverses pièces doivent être séparées électriquement, on emploie la résine, le mica ou la fibre. Les isolants résistants à une haute température sont préférables, car ils ne sont pas détruits par un échauffement exagéré des conducteurs.

Les organes du mécanisme de la lampe sont protégés par une chemise en tôle ou en verre. Cette dernière substance permet de voir ce qui se passe à l'intérieur, mais elle est trop fragile. La partie renfermant le mécanisme de la lampe ou boisseau doit avoir une faible hauteur de

manière à pouvoir diminuer les dimensions de tout l'appareil ou à donner à la longueur des crayons une valeur plus grande qui augmente leur durée.

Le fabricant livre la lampe réglée pour une intensité déterminée, mais il est toujours nécessaire de la rectifier à nouveau d'après le débit même du circuit.

Le principe des diverses lampes permet avec de légères modifications de construction de les employer indifféremment avec des courants continus ou alternatifs; celles qui sont spécialisées constituent l'exception. Lorsque la lampe doit fonctionner à courants alternatifs, les bornes ne portent aucune indication. Dans le cas contraire, les pôles sont désignés par les signes  $+$  ou  $-$  pour permettre d'établir facilement les connexions. On s'apercevrait toutefois de l'erreur à l'usure même des crayons qui se trouveraient renversés.

**Porte-charbons.** — Le boisseau de la lampe porte les ouvertures nécessaires au passage des tiges des porte-charbons. Ces tiges ayant une très grande longueur, il faut toujours maintenir avec soin leur parallélisme. Leur guidage peut être obtenu au moyen de galets ou de coulisses de guidage fixes. Dans ce dernier cas, le porte-crayon et sa coulisse doivent pouvoir communiquer électriquement, car il est en effet très difficile d'obtenir un bon isolement entre ces deux pièces. Il faut remarquer toutefois que dans un grand nombre de lampes on se sert des porte-charbons eux-mêmes comme conducteurs du courant.

Les crayons sont maintenus sur leurs porte-charbons au moyen de pinces, de vis, etc. On trouve en effet une infinité de dispositions. Les systèmes à vis ont l'inconvénient d'être difficiles à manœuvrer pendant le fonctionnement de la lampe car les vis s'échauffent par conductibilité, mais par contre, le crayon est bien fixé. Avec des ressorts, la manœuvre est plus simple, mais à la longue, ils perdent de leur élasticité et le charbon n'est plus maintenu solidement.

Un grand nombre de lampes portent des dispositifs spéciaux permettant le déplacement relatif des charbons dans tous les sens.

Dans la pose de ces derniers, il faut toujours avoir soin de les placer bien droit et de les rapprocher suffisamment. On peut même user les pointes l'une contre l'autre pour faciliter la formation de l'arc à l'allumage.

L'entretien des porte-charbons est des plus simples, on doit enlever

au moyen d'un pinceau les poussières charbonneuses, qui ne tardent pas à se déposer. De temps à autre, il suffit de les essuyer avec un linge imbibé d'essence.

**Globes.** — En général, l'arc voltaïque est entouré d'un globe destiné à atténuer son trop grand éclat en diffusant la lumière et en rendant sa distribution uniforme. On a vu en effet que les rayons émis par l'arc voltaïque, quelle que soit la nature des courants, n'ont pas la même intensité dans tous les sens ; certaines zones sont très éclairées, pendant que d'autres restent dans l'obscurité. L'emploi de globes diffusants fait bien disparaître cet inconvénient, mais au prix d'une absorption importante de la lumière.

Au début, on se contentait de les fabriquer en verre ordinaire recouvert d'une couche blanche d'oxyde de zinc. A ce procédé par trop primitif, on a substitué dans la suite le verre émaillé dont le pouvoir absorbant atteint le chiffre élevé de 50 à 60 pour 100. Pour diminuer cette absorption, on a essayé toutes sortes de moyens. On a employé des verres opalins, des verres clissés ou ondulés d'un pouvoir absorbant assez faible ; on est allé jusqu'à se servir de verres transparents dans lesquels l'action diffusante était obtenue par de la ouate de verre introduite entre les deux surfaces transparentes. Mais, de toutes ces tentatives, bien peu ont réussi, et l'on ne se sert guère aujourd'hui malgré leur pouvoir absorbant considérable, que de verres dépolis ou émaillés.

Les globes affectent les formes les plus diverses, mais quelle que soit leur disposition, ils compliquent toujours les régulateurs. Il est en effet nécessaire de munir ce dernier des organes nécessaires à supporter le globe. Le plus souvent ils sont fixés au boisseau même de la lampe, au moyen de crochets ; ils enveloppent alors toute la partie inférieure de l'appareil. Il en résulte l'obligation de les retirer pour le changement des crayons, dans quelques lampes des dispositifs spéciaux permettent de les faire coulisser le long des tiges des porte-charbons.

On fixe quelquefois les globes aux tiges des porte-charbons, il faut alors les munir d'encoches nécessaires pour le passage de ces tiges, mais alors la fragilité du globe augmente.

Quelques constructeurs sont arrivés à leur donner des dimensions tout à fait exigües. On n'est plus obligé alors de les déplacer pour la mise en place des crayons, le procédé est très avantageux car la descente des globes est toujours délicate et demande des agents soigneux.

Lorsque le globe n'entoure pas les crayons, c'est-à-dire présente une échancrure dans le bas, il faut le munir au-dessous d'un récipient transparent ou cendrier destiné à recevoir les bouts de crayons qui pourraient s'échapper.

On a imaginé de supprimer le globe et d'enfermer la lampe dans une lanterne. Au chemin de fer du Nord, où ce système est employé, la lanterne de forme parallépipédique mesure 0<sup>m</sup>,75 de haut, sur 0<sup>m</sup>,45 de large. Les côtés et le fond de cette lanterne sont munis de verres émaillés deux des côtés sont mobiles pour permettre le nettoyage de la lampe et le changement des crayons. Le chapiteau de la lanterne forme réflecteur. Cette disposition avantageuse convient pour l'éclairage des voies et des halles, le seul inconvénient est l'ombre portée par les montants qui supportent les verres. La lampe est fixée au chapiteau au moyen d'un crochet, quatre fils métalliques attachés aux montants l'empêchent d'osciller. L'emploi de ces lanternes est beaucoup moins onéreux que celui des globes.

Dans l'éclairage des boulevards à Paris, les lampes à arc sont montées sur candélabre et les globes sont fixés à demeure. Pour permettre le changement des crayons, ils sont coupés en deux hémisphères dont l'un est mobile autour d'un axe vertical. La charnière et la serrure sont placées dans le plan de la lyre qui supporte le régulateur de manière que leur ombre se confonde avec celle des branches de cette lyre. Un chapiteau, avec couronne formant réflecteur, reçoit le régulateur et protège tout le système contre la pluie.

Les verres des lanternes ou les globes doivent être essuyés avec soin tous les jours et lavés de temps à autre à l'eau de savon ou à la potasse, car ils ne tarderaient pas à noircir sous l'action des poussières charbonneuses.

En résumé, quel que soit le système employé, on perd toujours une certaine quantité de lumière, 40 à 50 pour 100. On peut atténuer cette perte par l'addition d'un réflecteur qui peut ramener la lumière dans certaine direction et réduire la perte à 30 pour 100 environ, mais son emploi est toujours difficile. La superposition des charbons, le boisseau de la lampe et enfin le déplacement général du point lumineux sont autant d'obstacles.

**Supports des lampes.** — Comme pour les appareils à gaz, les lampes à arc doivent pouvoir se monter dans les conditions les plus va-

riées ; mais ces dispositions diverses peuvent se ramener à trois principales ; les lampes sont suspendues, sur poteau ou sur candélabre.

*Suspensions.* — Le mode de suspension le plus simple est de la fixer directement au plafond du local à éclairer. Un tube creux monté sur un tampon en bois solidement fixé supporte la lampe.

Ce tube est percé de trous sur le côté pour l'entrée et la sortie des câbles venant de l'usine et aboutissant à la lampe. L'inconvénient de ce système très propre et très simple est l'obligation où l'on se trouve d'employer des échelles souvent fort longues pour opérer le changement des charbons. De plus, il ne permet pas de varier à volonté la hauteur du foyer suivant les besoins. Il convient surtout pour les magasins, salons où la hauteur est peu considérable.

On peut disposer la lampe de manière à pouvoir la descendre au moment du changement des charbons. Il suffit de la soutenir par un câble mobile s'enroulant sur deux poulies, un contrepoids intercalé dans la partie du câble entre les deux poulies, fait équilibre à la lampe et permet de la déplacer à volonté. Au lieu de recourir à des câbles spéciaux pour supporter le régulateur, on peut utiliser les conducteurs qui amènent le courant (système Crompton, système Cance).

Le système des suspensions ordinaires peut également être employé. Le contrepoids se trouve au-dessus de la lampe et l'ensemble de l'appareil est soutenu par un support métallique fixé au plafond. Cette disposition est adoptée pour les lampes à arc des Halles centrales de la Ville de Paris et pour la manœuvre des lustres dans certains théâtres.

*Candélabres.* — Dans les espaces découverts, il n'est plus possible de suspendre les appareils, il faut recourir à des supports spéciaux. La première idée a été d'employer des candélabres analogues à ceux des appareils à gaz, c'est-à-dire d'enfermer le régulateur dans une lanterne. Mais peu après, on a supprimé cette dernière tout en conservant le candélabre. C'est le dispositif employé pour l'éclairage des boulevards de la Ville de Paris (fig. 150).

Le candélabre en fonte est creux intérieurement pour recevoir les câbles amenant le courant. Il est surmonté d'une lyre dont le milieu est occupé par le foyer lumineux. La partie supérieure reçoit un réflecteur renvoyant la lumière vers le sol. Le câble suit les branches de la lyre et pénètre ensuite dans le régulateur. Avec des candélabres, les canalisations sont souterraines, et au pied on dispose l'interrupteur. Le régulateur étant fixe, le changement des crayons nécessite une échelle.



Fig. 150. — Candélabre de la Ville de Paris

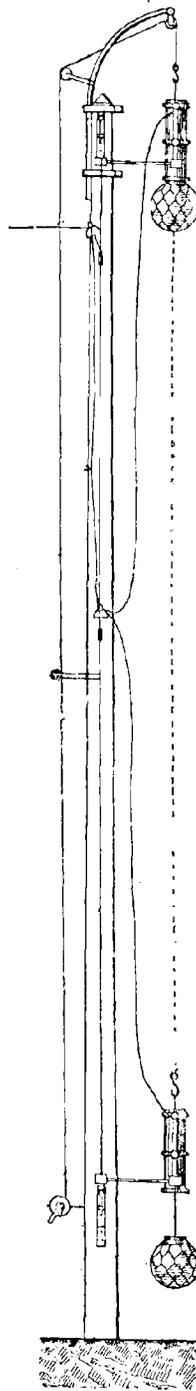


Fig. 151. — Potence en bois avec treuil de descente

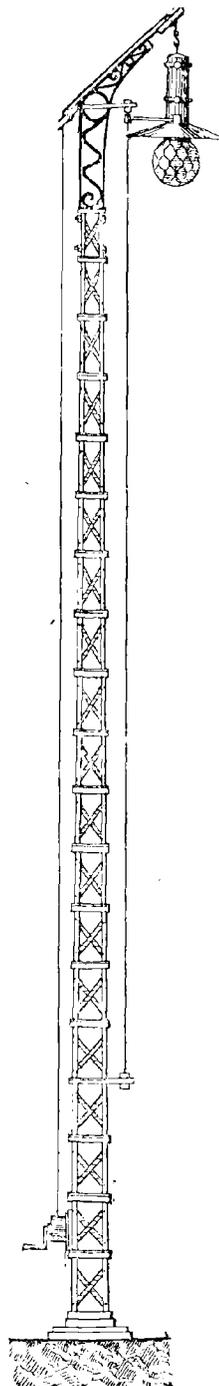


Fig. 152. — Pylone en fer avec treuil de descente

La hauteur de ces candélabres étant de 4 à 5 mètres, on voit que la manœuvre de l'échelle exige au moins deux hommes, c'est-à-dire qu'elle est dangereuse pendant la nuit. Il est certain que dans ce cas on a sacrifié la facilité des manœuvres à la beauté de l'installation.

On aurait pu suspendre le régulateur à une chaîne soutenue par deux candélabres placés sur chaque trottoir, comme on l'a fait à Berlin, mais l'installation devient alors trop coûteuse sans présenter plus de simplicité.

*Potences et pylones.* — Pour éviter l'emploi d'échelles, on peut rendre le régulateur mobile, de manière à pouvoir le descendre jusqu'au sol. Le candélabre est alors remplacé par un mât, un pylone ou une potence. Le plus simple consiste en un poteau en bois, muni d'un retour d'équerre dans le haut; une poulie reçoit le câble de suspension de la lampe qui vient s'enrouler sur un treuil au bas de la potence. Les fils conducteurs, aériens le plus souvent, arrivent au milieu de la potence; ils sont prolongés jusqu'à la lampe par des fils mobiles d'une longueur suffisante pour suivre cette dernière dans son mouvement de descente. Lorsque la hauteur devient plus importante, il faut munir le mât de tiges conductrices pour guider la lampe dans son mouvement de descente et surtout la protéger contre les grands vents. Les potences en bois sont spécialement employées dans les usines où l'on cherche à avoir des installations économiques (fig. 131).

Ce système n'est pas le seul usité, dans les ports en particulier, le bois est remplacé par du fer. Le pylone est alors formé par un treillis en fer forgé, monté sur un dé en pierre. La durée est naturellement plus grande, mais le prix d'installation est également plus élevé (fig. 132).

A la Compagnie du Nord, on emploie une potence métallique dont le socle repose sur un massif en maçonnerie; au-dessus du socle se trouve le treuil; autour duquel s'enroule le câble de suspension qui passe entre deux fers recourbés vers le haut formant le corps de la potence. Des poulies de renvoi ramènent le câble jusqu'à la lanterne contenant le régulateur. Les câbles conducteurs aériens viennent se fixer, au moyen de deux isolements, sur la potence; ils ont alors une longueur suffisante pour suivre la lanterne dans son mouvement de descente. Pour empêcher cette dernière de remuer sous l'action du vent, deux tringles en fer ou queues de guidage, fixées au cadre inférieur de la lanterne et munies

de galets à l'extrémité opposée, viennent glisser le long de deux tiges de guidage montées contre la potence.

Le nombre des supports de lampe à arc peut, du reste, varier à l'infini, mais il faut avoir soin d'employer des substances qui résistent très bien aux actions atmosphériques. C'est ainsi que l'usage du chanvre en plein air ne doit pas être admis, car il se détériore trop facilement et entraîne la chute des appareils. Les câbles en acier sont préférables, mais comme à la longue certaines parties, plus exposées que d'autres, s'oxydent, il faut également les visiter de temps à autre et les remplacer au besoin.

L'installation des poteaux doit être faite avec soin, car par les grands vents, ils ont à résister à de fortes secousses qui gênent alors le fonctionnement du régulateur.

## 7° BOUGIES ÉLECTRIQUES.

**Bougies Jablochhoff.** — Les régulateurs nécessitent toujours un mécanisme assez compliqué, aussi les inventeurs se sont-ils ingénies à trouver des systèmes beaucoup plus simples.

En 1878, Jablochhoff imagina la bougie qui porte son nom. Elle est formée par deux charbons placés parallèlement l'un à côté de l'autre, et séparés par une substance isolante. Ces charbons s'emboîtent dans des douilles en cuivre, qui leur amènent le courant, ces douilles sont maintenues à un écartement convenable dans des supports ou chandeliers empêchant tout contact. La pâte isolante qui les sépare, désignée sous le nom de *colombin*, est formée par un mélange de sulfate de chaux et de baryte. La lumière est fournie comme précédemment par l'arc qui jaillit entre les deux baguettes. L'usure des charbons doit être la même, d'où obligation d'avoir recours aux courants alternatifs pour obtenir ce résultat. L'arc a les mêmes propriétés que celui des régulateurs ordinaires. On le forme à l'allumage en réunissant les deux pointes de charbons par un filament en plombagine qui se volatilise sous l'action du courant. Il en est de même de la matière isolante qui disparaît au fur et à mesure de l'usure des baguettes. La durée d'une bougie n'est pas suffisante pour fournir de la lumière pendant toute une nuit. Avec une longueur de charbons de 25 centimètres sur 4 millimètres de diamètre, elle n'est que d'une heure et demie.

L'obligation où l'on se trouve de la remplacer à ces faibles intervalles, et par conséquent de produire une extinction pendant quelques instants, a forcé à chercher dès le début des dispositifs permettant la substitution rapide et automatique d'une bougie à une autre.

Jablochkoff avait imaginé de disposer plusieurs chandeliers sur un même candélabre (fig. 153) et d'envoyer le courant successivement dans

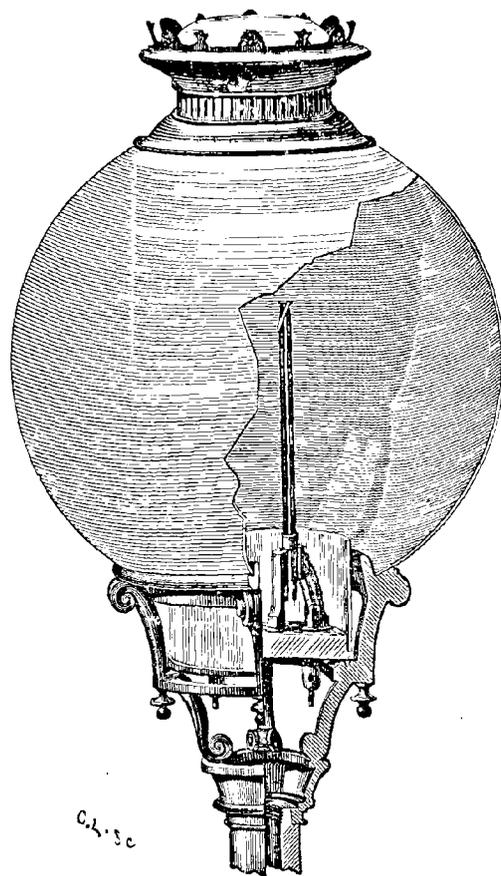


Fig. 153. — Bougie Jablochkoff.

chacun d'eux au moyen d'un commutateur placé dans le pied même de l'appareil. Toutes les heures et demie, un surveillant opérant la manœuvre de ce commutateur. Les chandeliers avaient une forme spéciale ; ils étaient en deux parties, l'une fixe et l'autre mobile autour d'un axe horizontal. C'est dans l'espace formé par ces deux demi-cylindres que l'on

plaçait la douille de la bougie maintenue fixe par un ressort agissant sur la partie mobile du chandelier.

On a imaginé depuis plusieurs systèmes mécaniques pour supprimer le commutateur, qui nécessitait un agent spécial, mais aucun d'eux n'a jamais donné un fonctionnement bien régulier. Jablochhoff avait reconnu du reste qu'il était inutile de recourir à un dispositif particulier. Il suffisait de réunir en quantité les baguettes correspondantes de chaque bougie. Comme leur résistance n'est pas identique, le courant passe plus facilement dans l'une d'elles, dont l'amorce fond. Lorsqu'elle est complètement usée, la résistance devenant trop considérable, le courant passe dans une autre bougie et ainsi de suite. La dérivation produite par chaque bougie constitue une perte de courant assez faible cependant.

**Bougie Wild.** — On s'est préoccupé également de supprimer la substance isolante entre les deux baguettes et plusieurs dispositions intéressantes ont été imaginées dans ce but. Dans la bougie Wild, les deux charbons identiques à ceux d'un régulateur ordinaire sont fixés l'un à côté de l'autre dans des supports métalliques dont l'un forme la branche verticale d'un levier coudé, mobile autour d'un axe horizontal (fig. 154). La seconde branche constitue l'armature d'un électro-aimant excité par le courant de la bougie. Un ressort antagoniste tend à incliner la baguette de charbon de manière à l'amener au repos en contact avec la première. Lorsque le courant vient à passer, l'électro vivement excité attire le levier coudé et rompt le contact des deux baguettes en donnant naissance à l'arc voltaïque. Il ne faut pas que les deux charbons puissent prendre une position absolument parallèle car l'arc pourrait se déplacer sur toute leur longueur. Ce système du reste donnait un fonctionnement assez irrégulier.

M. Méritens avait imaginé également une bougie à trois charbons parallèles, placés dans un même plan; celui du milieu jouait le rôle d'isolant, et régularisait la décharge entre les deux autres. Ce procédé défectueux a été également abandonné.

**Bougie Jamin.** — La bougie Jamin n'a pas eu plus de succès. Comme dans la bougie Wild, il n'y a pas d'isolant; la fixité de l'arc au bout des charbons est obtenue de la façon suivante. Dans le plan des baguettes, le conducteur est enroulé trois ou quatre fois sur lui-même. Il donne lieu à un champ magnétique qui attire l'arc dans la

pointe du charbon. Cette attraction est basée sur la propriété qu'ont les courants parallèles et de même sens de s'attirer. L'allumage de cette bougie se fait en intercalant entre les deux baguettes un fil de fer maintenu par une bague en caoutchouc. Cette bougie, à l'inverse des

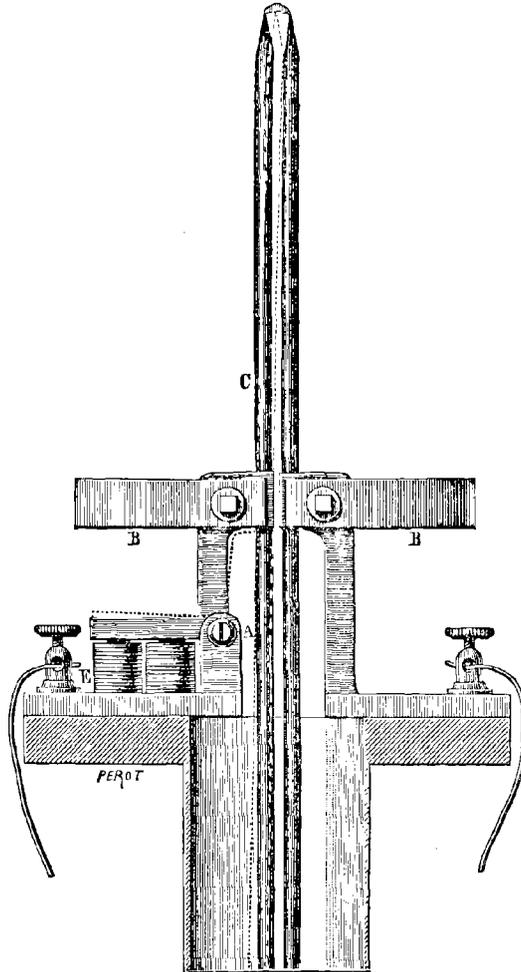


Fig. 154. — Bougie *Wild*.

B, supports des baguettes de charbon C; celui de gauche forme la branche du levier A dont l'autre branche constitue l'armature de l'électro B.

précédentes, se disposait de préférence la pointe en bas, car l'action de l'air, qui tend à ramener l'arc vers le haut, est contrebalancée par celle du conducteur extérieur; la longueur, et par suite la résistance de l'arc,

sont amoindries. Elle présente toutefois un grand inconvénient : c'est que, si elle vient à s'éteindre, le rallumage ne se fait pas automatiquement. Aussi, dans ses derniers appareils, Jamin avait ajouté un allumeur automatique analogue à celui de Wild.

Les bougies électriques ont été très employées pendant quelque temps ; mais, le peu d'homogénéité de la lumière, et leur rallumage difficile, n'ont pas tardé à leur faire préférer les lampes à arc ordinaires. Elles sont cependant encore assez répandues, et, pour la France seulement, la consommation s'élève à 1.500.000 par an.

La teinte de la lumière de la bougie n'est pas tout à fait la même que celle de la lampe à arc ; elle dépend surtout de la nature de l'isolant. Elle est bleue avec du kaolin, et rose avec du plâtre. Pendant le fonctionnement, cette teinte varie assez souvent. Ces oscillations fréquentes fatiguent la vue et constituent le défaut capital de cette source lumineuse.

Le montage des bougies, qui se fait le plus souvent en série, ne présente pas plus de difficulté que celui des lampes à arc. On les dispose sur des consoles qui supportent au lieu d'une lanterne, un globe opale destiné à diffuser la lumière. Il en est de même lorsqu'elles sont placées sur candélabre. Quand elles sont suspendues, elles ont un avantage, car il faut moins de hauteur de plafond que pour un régulateur. Comme il n'y a pas de mécanisme, cette dimension varie de 30 à 40 centimètres, tandis qu'avec les lampes à arc, elle atteint 60 à 75 centimètres.

L'énergie absorbée par cette source lumineuse est un peu plus considérable que celle nécessitée par les régulateurs à courants alternatifs. Avec ces derniers, le voltage varie de 35 à 40 volts, tandis qu'il est de 42 à 43 pour les bougies.

## 7° -- LAMPES DIVERSES

**Lampes à disques.** — Dans la première lampe à arc due à Thomas Wright (1843), les charbons, au lieu de se présenter sous forme de baguettes, étaient constitués par des disques pleins. L'arc jaillissait au point de tangence des circonférences de ces disques animés d'un mouvement de rotation. Au fur et à mesure de leur usure, les disques se rapprochaient. Cette disposition, très avantageuse en principe, permettait de donner aux charbons des dimensions suffisantes pour obtenir une

durée très considérable de la source lumineuse. Mais dès le début, cette idée ne fut pas suivie par Staite et Foucault qui employèrent des baguettes de charbon.

Bien plus tard, M. Harisson reprit le principe de la lampe de Wright, en le modifiant. Un des disques fut remplacé par une baguette de charbon. Dans cet appareil, construit en France par Ducretet, le disque était animé d'un mouvement de rotation et le crayon ordinaire se rapprochait sous l'action d'un solénoïde comme dans les régulateurs ordinaires. La lumière obtenue était insuffisante.

Les essais furent repris par M. Reynier, mais avec deux disques de charbon comme dans la lampe Wright. Chaque disque était mû par un mouvement d'horlogerie. L'écartement des disques nécessaire à la production de l'arc était obtenu au moyen d'un système électro-magnétique agissant sur l'un des porte-charbons. Pas plus que les précédents, cet appareil ne réussit.

De temps à autre, on voit apparaître une lampe nouvelle basée sur ce principe, mais jusqu'à présent, aucune d'elles n'est passée dans la pratique.

**Lampes hydrostatiques.** — Il en est de même d'une catégorie de lampes dites hydrostatiques, dont le principe est dû à Lacassagne et Thiers (1856).

Dans leur régulateur, le charbon négatif flottait sur du mercure, dont le niveau s'élevait plus ou moins suivant la longueur de ce crayon. Au fur et à mesure de l'usure, on laissait pénétrer le liquide. A cet effet, le robinet d'admission du mercure était commandé par le noyau d'un électro-aimant, qui en déterminait l'ouverture au moment où la résistance de l'arc devenait trop considérable. Cette lampe remarquable par son originalité, était peu pratique à cause de la présence d'un liquide à la fois coûteux et peu maniable.

Comme lampe hydrostatique, il convient de citer la lampe de M. Way, basée sur un principe tout à fait différent des précédents. Elle date de 1856. Dans cet appareil, le pôle positif de la source d'énergie communiquait avec un entonnoir contenant du mercure, le pôle négatif avec un réservoir rempli de ce liquide. Le mercure en tombant de l'entonnoir dans le réservoir donnait naissance à une série d'arcs voltaïques suffisamment rapprochés pour que la lumière parût continue à l'œil. Pour empêcher l'oxydation et la volatilisation du métal, l'écoulement se fai-

sait dans un manchon en verre. La lumière obtenue était très faible. L'essai de M. Way fut loin d'être couronné de succès, il fut fatal à l'inventeur qui mourut empoisonné par les vapeurs mercurielles.

**Lampe Van Malderen.** — Pour supprimer le mécanisme de la régulation, qui complique la lampe à arc, M. J. Van Malderen avait imaginé un appareil très simple, consistant en une sorte de compas vertical dont les branches sont isolées l'une de l'autre. Chaque branche porte un charbon horizontal. Au repos, les deux charbons sous l'influence de leur propre poids se rapprochent, mais lorsque le courant vient à passer, ils tendent à se séparer en donnant naissance à l'arc voltaïque. Il s'établit une sorte d'antagonisme entre ces deux actions, et on obtient ainsi une fixité relative de l'arc. Ce régulateur n'est pas d'un usage pratique, de plus comme il ne fonctionne qu'avec des courants de faible intensité, la lumière obtenue est très faible.

**Lampe Soleil.** — On a imaginé également de se servir de la température de l'arc, pour porter à l'incandescence un corps infusible

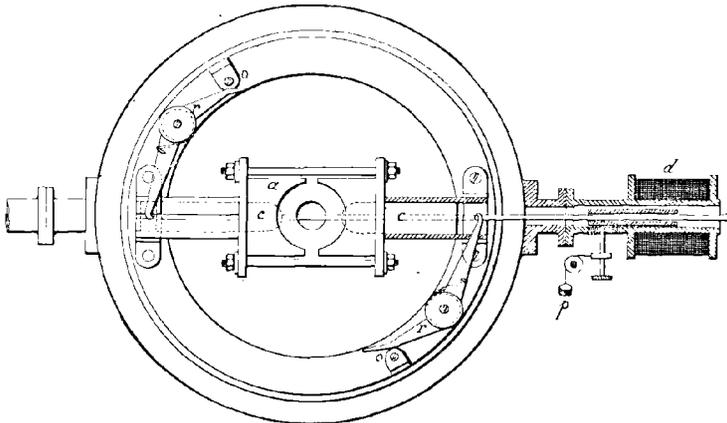


Fig. 155. — Lampe Soleil.

*a*, bloc de chaux. — *c, c*, crayons. — *p*, contrepoids tendant à rapprocher la baguette d'allumage lorsque le courant ne passe pas. — *d*, électro produisant l'amorçage de l'arc, — *r, r*, ressorts tendant à mettre la lampe en court circuit par les contacts *O*, lorsque les crayons sont usés.

dont le pouvoir lumineux s'ajoutant à celui des charbons change l'aspect de ces derniers. C'est le principe de la lampe Soleil, due à MM. Clerc et Bureau (1880). Elle est surtout remarquable par sa simplicité et sa résistance mécanique.

Au début, cette lampe fonctionnant à courants alternatifs, consistait en un bloc de matière réfractaire, chaux ou magnésie, évidée à la partie inférieure. Deux charbons glissaient librement dans des ouvertures obliques ménagées dans le bloc réfractaire. Les trous allaient en se rétrécissant, de manière à arrêter les charbons à l'entrée de la cavité.

L'arc, jaillissant entre les deux pointes de charbon, échauffait le morceau de chaux qui se trouvait porté à l'incandescence; il en résultait pour la lumière une grande régularité et une couleur jaunâtre très agréable à la vue. Les pointes de charbon, noyées dans la substance réfractaire, contribuaient faiblement à l'éclairage. Pour amorcer l'arc, on intercalait entre les deux crayons un fil de plombagine ou un morceau de charbon qu'on présentait entre les deux pointes.

L'appareil avait un inconvénient : c'est, qu'en cas d'extinction, il ne se rallumait pas automatiquement.

Aussi les inventeurs l'ont-ils modifié pour en faire un véritable régulateur. Les deux charbons sont disposés horizontalement, et traversent deux tubes de fer servant à les guider. Ils sont poussés l'un vers l'autre par l'intermédiaire de deux leviers actionnés par un ressort. Lorsque les charbons sont complètement usés, les deux ressorts rencontrent des contacts qui mettent la lampe en court circuit (fig. 155).

L'allumage est produit par un charbon très mince traversant l'un des crayons. Au repos, un contrepoids rapproche le petit crayon contre le charbon opposé, et, dès que le courant passe, un solénoïde équilibrant l'action de ce contrepoids ramène le petit crayon en arrière et amorce l'arc.

Le bloc réfractaire a une durée de 100 heures environ; les charbons, longs de 40 centimètres, brûlent 50 heures en moyenne; mais l'énergie absorbée, pour une même quantité de lumière fournie, est plus considérable qu'avec un régulateur à arc ordinaire. Une lampe Soleil de 10 ampères, sous 100 volts, ne donne pas plus de lumière qu'un régulateur à arc de même intensité électrique. C'est, pour ce motif, que cet appareil ne s'est pas répandu.

---

## VIII. — Lampes à incandescence.

---

**Propriétés.** — Tous les appareils, examinés précédemment, ne permettent guère la division de la lumière. Ce résultat ne pouvait être obtenu qu'avec la lampe à incandescence. Dans cette dernière, la lumière est produite par l'incandescence d'un filament parcouru par un courant. Ce filament doit présenter une section assez faible pour que sa résistance puisse, d'après la loi de Joule, donner naissance à une quantité de chaleur suffisante pour le porter à l'incandescence. C'est qu'en effet les corps solides n'émettent de la lumière qu'à partir de 500 degrés, mais, dès ce moment, la lumière émise croît plus vite que la température.

Le nombre des substances qu'on peut porter à l'incandescence par le courant est assez considérable jusqu'à présent, on s'est contenté de recourir au platine ou au charbon. La couleur de cette lumière dépend naturellement de la nature du corps incandescent ; avec les deux substances précédentes, elle est jaune, et se rapproche beaucoup de celle du gaz. Elle varie également avec le degré de température, c'est-à-dire depuis le rouge sombre jusqu'au blanc éblouissant, qu'elle atteint vers 1.800 degrés. On s'explique ainsi la nécessité d'employer des corps peu fusibles, comme le carbone et le platine.

L'alimentation d'un filament incandescent peut aussi bien se faire à courants continus qu'à courants alternatifs. Dans ce dernier cas, les alternances sont suffisamment rapprochées pour que, d'un changement de sens à l'autre, le fil n'ait pas le temps de se refroidir, ni l'impression produite sur la rétine de disparaître.

A ces hautes températures, le filament, quelle que soit sa nature, ne tarde pas à se consumer au contact de l'air. On peut alors procéder de plusieurs façons pour assurer le fonctionnement de la lampe : ou bien laisser s'effectuer cette combustion, à la condition de remplacer à chaque instant la matière brûlée, ou bien encore laisser s'opérer un commencement de combustion de manière à rendre le milieu inerte, ou enfin l'empêcher totalement en faisant disparaître l'air indispensable à toute combustion.

Dans les deux premiers cas, on a les lampes à incandescence dans l'air, le troisième comporte la série nombreuse des lampes à incandescence dans le vide.

#### 1° LAMPES A INCANDESCENCE DANS L'AIR

Ce ne sont pas les plus anciennes; elles ne sont apparues qu'après les premiers essais infructueux sur les lampes à incandescence dans le vide. La lumière fournie est intermédiaire entre celle de la lampe à incandescence dans le vide et l'arc voltaïque. C'est qu'en effet à celle du filament, se joint toujours la lumière fournie par les quelques étincelles qui se forment au point de contact. En général, la source lumineuse est produite par une baguette de faible longueur; il faut donc qu'elle ait un diamètre à la fois assez grand pour ne pas être brûlée instantanément et assez mince cependant pour pouvoir devenir incandescente.

**Lampe Reynier.** — Les premières expériences sont dues à Reynier (1878), qui avait comme but la division de la lumière. Au-dessus d'un gros charbon, formé par un disque plein, il disposait une petite baguette très mince de 2 millimètres de diamètre, soutenue verticalement par un porte-charbon assez lourd. Le porte-charbon glissait dans une colonne creuse entre quatre galets. La baguette s'appuyait sur un guide qui lui amenait le courant de manière à n'être soumise à l'action de ce dernier que sur une longueur de 6 millimètres au plus. L'usure se produisait donc au point de contact; un avancement progressif de la baguette, qui descendait avec le porte-charbon, y suppléait lentement. Le disque de charbon était animé d'un mouvement de rotation ayant pour but de faire tomber les cendres de la combustion qui n'auraient pas tardé à rendre le contact insuffisant. Pour renouveler la lampe, il suffisait de soulever le porte-charbon et de mettre en place une nouvelle baguette (fig. 456).

La lumière produite par l'incandescence de cette baguette, sur la partie comprise entre le disque et le guidage qui amenait le courant, était augmentée en outre par une série de petites étincelles jaillissant au point de contact. Elles étaient dues à la répulsion du courant sur lui-même, répulsion qui tendait à séparer la baguette du charbon massif. On comprend aisément que l'arc voltaïque étant en partie supprimé,

le voltage exigé soit plus faible que celui de l'arc ordinaire; mais la lumière obtenue est également moins considérable. L'usure d'un charbon de 6 millimètres de diamètre était de 10 centimètres à l'heure.

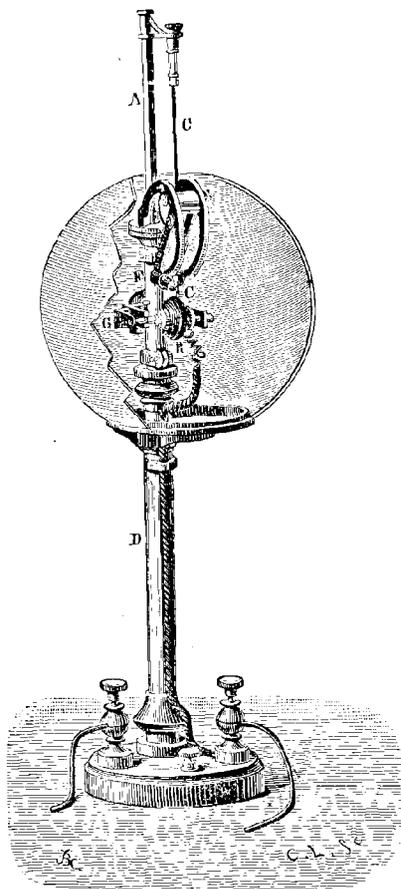


Fig. 156. — Lampe Reynier.

A, Porte-charbon mobile glissant dans la coulisse F; — C, baguette de charbon incandescente; — R, disque en charbon mobile autour d'un axe; — G, globe opale reposant sur le pied de la lampe D.

**Lampe Wedermann.** — L'idée de Reynier fut reprise par Wedermann. L'appareil précédent était renversé, le charbon négatif se trouvait à la partie supérieure; il avait la forme d'un disque horizontal. La baguette positive à la partie inférieure mesurait 4 millimètres 5 de diamètre. Elle tendait à s'élever sous l'action d'un contrepoids glissant

dans un tube métallique qui lui servait à la fois de guide et de contact d'amenée du courant. Le disque supérieur ne s'usait pas : il n'y avait que la partie de la baguette comprise entre le contact métallique et le disque qui, se trouvant seule soumise à l'incandescence, se consumait à la longue. L'usure était de 0<sup>m</sup>,50 à l'heure. L'action du contrepoids était réglée par un ressort formant frein; malgré cela, la pression exercée par le contrepoids était suffisante pour empêcher toute séparation des charbons, c'est-à-dire toute production d'étincelles (fig. 157).

Ces lampes étaient montées en quantité; la différence de potentiel aux bornes était de 6 à 7 volts, et l'intensité de 50 ampères. Il y avait un commutateur par appareil.

La lampe Wedermann fut suivie de la lampe Lescuyer, à peu près semblable, et de la lampe Brougham, dans laquelle le filament était porté à l'incandescence dans de l'air non renouvelé.

A l'Exposition de 1889, à Paris, M. Pieper a exposé une lampe basée sur les mêmes principes. La baguette de charbon, taillée en biseau, et ayant la forme d'un rail à double champignon, venait s'appuyer sur deux conducteurs en cuivre horizontaux. Le contact entre ces trois pièces était assuré au moyen d'un poids réglable, placé sur la baguette verticale. Avec une consommation d'énergie de 220 watts sous 7 volts,8 on obtenait une intensité lumineuse de 12 carcels.

Malgré ces nombreux essais, jusqu'à ce jour les lampes à incandescence à air libre ne se sont pas répandues. Il faut reconnaître du reste que la nécessité de remplacer la petite baguette de charbon et la délicatesse de ces appareils sont autant de motifs s'opposant à leur développement.

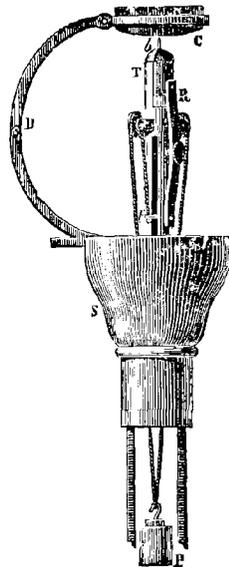


Fig. 157. — Lampe Wedermann

C, disque en charbon soutenu par un support métallique mobile autour de la charnière D; — T, guide métallique, renfermant la baguette incandescente b maintenue par le ressort R; — t, collier soulevant la baguette par le moyen du contrepoids P; — S, entonnoir destiné à recevoir les cendres et à supporter le globe de la lampe

## 2° LAMPES A INCANDESCENCE DANS LE VIDE.

Les premières tentatives furent faites avec des filaments en platine, mais à cette haute température, le platine ne tardait pas à fondre, et par suite à se briser, aussi, les essais de Draper et de Chanzy n'aboutirent pas (1858).

Il n'y avait guère que le charbon qui restât infusible sous l'action de cette quantité de chaleur considérable, et dont le pouvoir rayonnant fut supérieur à celui du platine. Mais on se trouvait, comme pour ce dernier, dans l'obligation de l'enfermer dans un récipient vide d'air.

L'idée de l'emploi du charbon comme source lumineuse dans le vide, est due à King. Elle est fort ancienne, toutefois, les premières expériences ayant donné un résultat appréciable ne datent que de 1874 et sont dues à M. Lodyguine. Dans sa lampe le filament en arc de cercle est suspendu à deux pinces métalliques lui amenant le courant. L'ensemble est enfermé dans un récipient vide d'air. Les essais sur cette lampe entrepris par M. Kosloff eurent lieu à Paris; ils ne réussirent pas, l'appareil était trop défectueux.

**Lampe Konn.**—En 1875, M. Konn, parti d'un principe identique arriva à construire une lampe d'un fonctionnement plus satisfaisant. Elle comportait une série de baguettes en charbon, disposées verticalement et circulairement sur un plateau métallique horizontal. Ces baguettes se terminaient par des tiges en cuivre de hauteur différente sur lesquelles venait s'appuyer un deuxième plateau amenant le courant. Par suite de l'inégalité de hauteur des baguettes, il n'y avait qu'un contact, et par suite qu'une baguette par circuit. Lorsque cette dernière venait à casser, le plateau supérieur retombait sur le contact suivant, portant la baguette correspondante à l'incandescence. Il en était ainsi jusqu'à usure complète de tous les crayons; à ce moment, la lampe était mise en court circuit. En général, une lampe à cinq crayons fonctionnait toute une soirée, c'est-à-dire cinq à six heures. Les défauts résidaient surtout dans un vide insuffisant, dans le peu d'homogénéité des baguettes, et surtout dans le contact mal établi. Ces lampes furent essayées à Saint-Petersbourg; le courant était fourni par une machine de l'Alliance de puissance moyenne.

**Lampe Bouliguine.** — La grande préoccupation, dans tous ces appareils, était de pouvoir remplacer le charbon une fois brûlé, tout en conservant le récipient qui le contenait, dans lequel d'ailleurs le vide était tout à fait insuffisant. On voit très bien cette particularité dans la lampe Bouliguine, qui suivit la lampe Konn, dont elle différait par le nombre des charbons. Elle comportait deux tiges verticales en cuivre, et deux barres horizontales de prise de courant; cette sorte de cadre était contenu dans une ampoule vide d'air et fermée par une soupape en caoutchouc. L'une des tiges était creuse et se trouvait munie sur toute sa longueur de deux fentes parallèles. Le charbon était introduit dans cette tige, comme la mine d'un porte-crayon, il tendait à monter sous l'action d'un contre-poids relié au support du crayon par des fils très fins passant à travers les fentes. Une partie seulement du charbon étant portée à l'incandescence, lorsqu'elle était usée, le contre-poids la remplaçait par la portion suivante, et ainsi de suite jusqu'à utilisation complète de la baguette. C'est en résumé un appareil analogue à la lampe Wedermann examinée précédemment. Toutefois, comme lampe à incandescence dans le vide, elle était trop compliquée, aussi son fonctionnement laissait-il beaucoup à désirer.

Elle fut suivie de la lampe Sawyer-Man qui n'était autre que celle de Lodyguine avec cette différence qu'au lieu d'être vide, l'ampoule était remplie d'un gaz inerte empêchant toute combustion.

C'est à la suite de ces essais, que la recherche de lampes dans le vide fut un moment abandonnée pour adopter le système mixte des lampes à incandescence dans l'air.

Edison à son tour se mit à étudier la question. Ses premières expériences portèrent sur l'emploi d'un filament de platine dans le vide. Le platine allié à l'irridium était enroulé en spirale et enfermé dans une ampoule. Mais pour éviter toute rupture due à une augmentation d'intensité du courant, Edison avait placé à l'intérieur de la spirale une tige métallique qui se dilatait sous l'action de la chaleur du fil de platine. Lorsque la température devenait trop considérable cette tige mettait en communication directe les bornes de la lampe; la spirale en se refroidissant à nouveau faisait ressort sur la tige régulatrice et rompait le contact; la lampe se rallumait.

L'appareil fonctionnant irrégulièrement, Edison ne continua pas ses recherches dans cette voie et revint au filament de charbon. Après de nombreux efforts, il arriva concurremment avec Swan en Angleterre à

construire la première lampe à incandescence dans le vide. Ces lampes furent présentées pour la première fois à l'exposition d'électricité de 1881 à Paris.

L'importance de la découverte d'Edison et de Swan consistait surtout dans la fabrication du filament et dans son mode de fixation dans l'ampoule. Le succès était dû en partie à ce que ces deux inventeurs avaient abandonné les errements de leurs prédécesseurs, qui cherchaient à avoir des appareils dont on puisse remplacer à volonté le filament de charbon tout en conservant les accessoires, c'est-à-dire l'ampoule et les conducteurs. On doit reconnaître du reste, qu'aucune innovation importante n'a été apportée depuis, et que toutes les modifications dans la fabrication du filament ou le montage de la lampe, ont pour but d'augmenter le rendement de cet appareil, et d'abaisser son prix d'achat.

Tout appareil à incandescence comprend deux parties : la lampe proprement dite et la monture.

La *lampe* constitue l'appareil d'éclairage; elle est formée par le filament enfermé dans son ampoule vide d'air, la fixation du filament sur l'ampoule et l'ampoule elle-même sont maintenues par une pièce spéciale ou culot,

La *monture* ou *douille* joue un très grand rôle, c'est elle qui sert de liaison entre la lampe qui est mobile et le circuit d'alimentation fixe. Généralement on la munit d'un interrupteur de courant analogue au robinet du bec de gaz. La durée de la douille est illimitée et lorsque la lampe est usée, on peut retirer cette dernière sans toucher à la douille.

On rencontre une très grande variété de systèmes de lampes et de montures, mais toutes peuvent se ramener à quelques types principaux qu'il convient d'examiner.

**Lampe Edison.** — Dans la lampe Edison, le charbon a la forme d'un fer à cheval; il est obtenu par la calcination en vase clos de fibres d'une variété de bambou du Japon. Toutefois, ce n'est pas la seule matière usitée. Edison dans son brevet avait préconisé l'emploi de toutes les substances fibreuses d'origine végétale ou organique. La matière première reçue sous forme de petites lames est débitée en filaments d'épaisseur voulue. Au début, la section rectangulaire de ces filaments mesurait après calcination  $0^{\text{mm}},4$  sur  $0^{\text{mm}},3$ ; on l'a remplacée par une section circulaire qui, à valeur égale, a un périmètre beaucoup plus grand. Leur longueur dépend de l'intensité lumineuse à prévoir; elle est de 110 mil-

limètres pour une lampe de 10 bougies et de 125 millimètres pour celle de 46.

Les filaments sont ensuite placés sur des moules en terre réfractaire ou en nickel, enfermés dans des creusets en plombagine (fig. 158). La calcination doit se faire à l'abri de l'air pour éviter toute combustion du bambou. Beaucoup de fabricants, après cette opération, augmentent l'homogénéité des charbons en disposant à la surface des fils une couche de carbone obtenu par la décomposition d'huile minérale ou d'autres carbures. Il suffit pour cela de plonger les filaments dans le liquide et de faire passer un courant ; il y a électrolyse. Le résultat de cette addition est de donner au filament une épaisseur partout égale et par suite une résistance uniforme ou tout au moins, une plus grande facilité pour lui permettre de supporter la même température en tous les points.

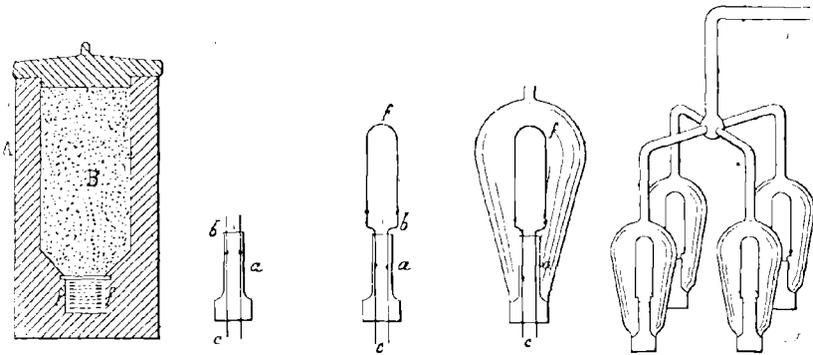


Fig. 158. — Fabrication des lampes à incandescence.

Calcination des filaments  
A, creuset en plombagine ; — B, poussier de coke préservant les filaments *f* du contact de l'air.

*a*, tube en verre avec ses fils de platine *b* prolongés par deux fils de cuivre *c* ; *f*, filament de la lampe.

Production du vide dans les ampoules.

Le filament ainsi préparé est ensuite envoyé au montage pour être fixé sur un tube en verre dans lequel on a introduit deux fils de platine prolongés extérieurement par deux fils de cuivre. On emploie le platine parce que la dilatation de ce métal correspond à celle du verre, de telle sorte qu'il ne se produit aucune solution de continuité entre le verre et les conducteurs. Les fils métalliques doivent être suffisamment longs pour éloigner du verre la partie incandescente dont la chaleur ne tarderait pas à décomposer le cristal. Le filament est réuni aux fils de platine au moyen de deux petites pinces et le contact est rendu intime par un dépôt galvanique de cuivre remplacé bien souvent par du carbone.

La solidité de cette jonction joue un très grand rôle dans la durée de la lampe (fig. 158).

Le tube en verre est fermé du côté correspondant au filament, il constitue une sorte de bouchon destiné à empêcher toute introduction d'air dans l'ampoule, qui devra contenir le fil de carbone. La soudure est faite au chalumeau. Dans la partie supérieure de l'ampoule, on a ménagé un petit tube permettant de faire le vide au moyen de pompes à mercure. On dispose plusieurs lampes ensemble sur un même tube pour simplifier l'opération. Lorsque la pression n'atteint plus que quelques millimètres on fait passer dans le filament un courant qui va sans cesse en croissant. Il a pour but de chasser les gaz condensés dans le charbon et dont le dégagement ultérieur pourrait compromettre la durée du filament. Quand on est arrivé à un degré de vide suffisant, on ferme l'ampoule au chalumeau. La lampe est complète, mais pour lui donner plus de solidité le bouchon est introduit dans un cylindre de cuivre ou culot fileté à l'extérieur. Les deux fils de cuivre extérieurs à l'ampoule aboutissent l'un à une pièce métallique ou contact noyé dans le culot et l'autre au cylindre même. L'ampoule est maintenue dans son culot au moyen d'un scellement en plâtre.

Le principe de la fabrication des lampes Edison est appliqué aux autres lampes à incandescence. On a cherché toutefois à réduire les manipulations et par suite le prix de revient.

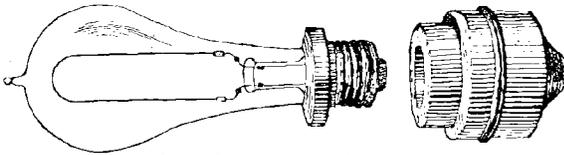


Fig. 159. — Lampe Edison.

La monture des lampes Edison est formée par une douille en bois, garnie intérieurement d'une enveloppe métallique filetée, dans laquelle vient se visser le culot de la lampe. Cette

disposition est assez avantageuse au point de vue de la facilité du remplacement des appareils (fig. 159). Pour amener le courant, on place dans le fond de la douille une pièce métallique mise en communication avec l'un des conducteurs, elle correspond au contact métallique noyé dans le culot de la lampe. Le deuxième conducteur aboutit à la portion filetée en contact avec le pas de vis du culot.

Il faut pouvoir interrompre l'arrivée du courant pendant le fonctionnement général de l'installation, soit pour remplacer la lampe soit pour produire son extinction. Cet interrupteur joue le même rôle qu'un robi-

net à gaz; on le place généralement sur la douille même. A cet effet, le conducteur correspondant à la partie filetée est coupé en un point, et les deux sections aboutissent à deux pièces isolées formant une sorte d'entonnoir. Un tronc de cône correspond à cet entonnoir; il est destiné à réunir électriquement les deux sections isolées. Lorsqu'il est en contact avec l'entonnoir, le courant est établi, dans le cas contraire, le circuit est interrompu. Pour assurer le contact intime, on a fendu le tronc de cône en deux parties séparées par un ressort plat, qui tend à les écarter et à les appuyer contre les parois de l'entonnoir. Le déplacement du tronc de cône est obtenu au moyen d'un ressort en spirale mû par une tige occupant l'intérieur de la clef de l'interrupteur. Cette tige est percée d'une rainure hélicoïdale dans laquelle se meut la tête d'une vis fixée au ressort. Lorsqu'on tourne la clef, la vis se déplace dans la rainure comprimant ou détenant le ressort. Dans la position correspondant à la compression du ressort, la rainure est munie d'un cran d'arrêt qui maintient la tête de la vis. Cet interrupteur très simple est un peu trop volumineux (fig. 160).

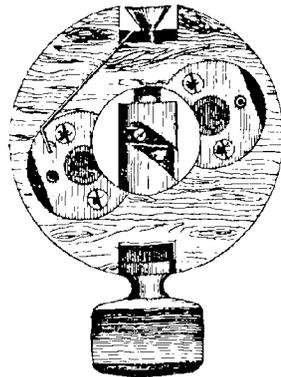


Fig. 160.  
Interrupteur de la lampe Edison.

Les lampes Edison les plus employées sont celles de 8 et 16 bougies fonctionnant généralement sous 110 volts.

**Lampe Swan.** — La lampe Swan est apparue en même temps que celle d'Edison en 1881, il en est résulté une longue discussion pour savoir à qui appartiendrait la priorité de l'invention, et par suite la possession des brevets. Mais les Compagnies ont fini par fusionner, et chacune d'elles exploite librement la fabrication des lampes à incandescence.

Dans la lampe Swan, le filament est constitué par une série de fils de coton tissé, présentant un bourrelet aux extrémités.

Après une longue immersion dans l'acide sulfurique étendu d'eau, on l'enroule en forme de boucle. Cette disposition a l'avantage de concentrer la lumière tout en augmentant la longueur du filament. De plus, elle permet de dissimuler plus facilement les déformations subies par le filament dans la fabrication. La calcination se fait comme précédemment dans un creuset rempli de poussier de coke. Les fils de platine,

qui servent à amener le courant se terminent par deux anneaux extérieurs à l'ampoule ce qui augmente leur longueur. Le reste de la fabrication, c'est-à-dire la manière de faire le vide et la fermeture de l'ampoule, se fait de la même façon que précédemment.

Quant à la monture de la lampe elle a une forme spéciale. Dans les premières lampes, le support était muni de deux fils conducteurs en spirale amenant le courant, on les accrochait aux deux anneaux de la lampe. Un ressort placé au milieu, en pressant sur cette dernière, assurait le contact. Ce montage, qui exposait les fils de platine à la rupture, a été abandonné depuis, et l'on emploie le système à baïonnette usité dans un très grand nombre d'appareils.

La lampe Swan est une des meilleures au point de vue de la consommation d'énergie qui est assez faible. La puissance lumineuse est la même que celle des lampes Edison.

**Lampe Woodhouse et Rawson.** — Le nombre des lampes dérivées des deux types précédents est très élevé; la plupart fonctionnent très régulièrement; ce n'est donc que par les détails qu'elles diffèrent entre elles. Une des plus employées actuellement est la lampe Woodhouse et Rawson, très usitée en Angleterre.

Le filament est disposé de la même façon que celui de la lampe Edison, mais l'origine et la préparation sont un peu différentes. Sa composition est tenue secrète; on suppose cependant que le carbone provient de la décomposition du sucre par l'acide sulfurique ou de la calcination d'un fil de coton nourri par la décomposition d'hydrocarbures. Quelle que soit son origine, il présente une grande homogénéité. Les fils conducteurs en platine sont très longs, on maintient leur parallélisme au moyen d'une barrette en verre (fig. 161). Il convient de remarquer, toutefois, que cette disposition est défectueuse; en effet, si la section des fils de platine est trop faible, ils se déforment, et la barrette en verre se déplace sous l'influence d'un choc un peu brusque. L'ampoule est noyée dans le culot au moyen d'un ciment spécial. On a choisi pour la construction de ce culot une substance très isolante ou vitrite, résistant, en outre, à l'humidité. Les fils de platine sont prolongés, comme à l'ordinaire,

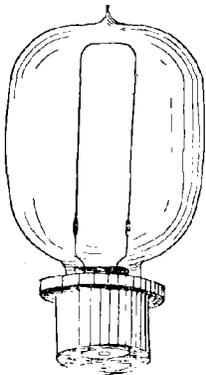
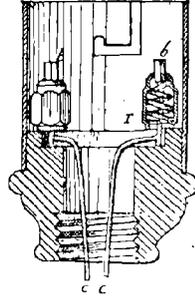


Fig. 161. — Lampe Woodhouse et Rawson

par deux fils de cuivre aboutissant à deux contacts scellés dans le culot. La monture est à baïonnette. Dans cette disposition très avantageuse, le culot de la lampe est muni de deux petites saillies qui viennent se loger dans deux encoches ménagées sur la douille. Pour assurer la liaison électrique, les fils conducteurs de la douille viennent aboutir à deux contacts renfermés dans une cavité; deux ressorts appuyent les contacts mobiles contre ceux de la lampe (fig. 162). Ainsi disposée, la lampe ne porte pas elle-même son interrupteur de courant que l'on doit alors intercaler sur le circuit.

La Compagnie Woodhouse construit également des lampes de faible intensité lumineuse fonctionnant sous un voltage assez bas comme celui fourni par deux ou trois accumulateurs. Elles servent alors à des usages spéciaux pour lampes de voiture, de mineurs, de pompiers, etc. On doit dans ce cas donner aux conducteurs une longueur assez faible, de manière à diminuer la résistance et par suite la tension.

**Lampe de Khotinsky.** — D'autres constructeurs, au contraire, donnent à leur lampe une résistance très considérable; c'est le cas de la lampe de Khotinsky dont le filament présente une boucle à sa partie supérieure. D'après les renseignements contenus dans la publication du procès du concessionnaire à Paris, Daniel Augé, avec la Compagnie Edison, ce filament serait obtenu par la carbonisation de minces lanières découpées dans des plaques de cellulose colloïde. La structure amorphe de cette substance donne des fils d'une très grande homogénéité. Le mode de fixation de ce filament sur les fils de platine, scellés, comme à l'habitude, dans le culot de la lampe, diffère très peu de celui de la lampe Edison. Quant au culot, il ne présente rien de bien particulier, il affecte les formes les plus diverses; toutefois, le système à baïonnette prédomine (fig. 168).



162. — Douille à baïonnette.

*b, b*, contacts recevant le courant par les câbles *c, c*; — *r, r*, ressorts appuyant les contacts contre la lampe.

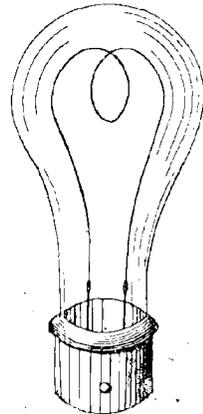


Fig. 163.

Lampe de Khotinsky.

. Les lampes à haut voltage présentent un inconvénient : entre les fils de platine, aux bornes des filaments, il se produit une étincelle qui ne tarde pas à amener la destruction de l'appareil. On la fait disparaître en intercalant une barette en verre formant isolant ; la marche de la lampe est alors très régulière.

Dans certaines lampes de fabrication spéciale, l'énergie consommée par bougie descend à  $1^w,5$ , mais la durée en est diminuée d'autant ; cette dépense est très avantageuse, surtout lorsqu'il s'agit d'appareils à production limitée, ou lorsque l'énergie coûte cher.

La construction de ces lampes doit être faite avec beaucoup de soin ; leur fonctionnement est alors très satisfaisant. On trouve des lampes depuis 50 volts jusqu'à 225, avec une consommation moyenne de  $3^w,3$  par bougie et une durée de 1.000 heures.

La douille à baïonnette ne présente rien de particulier. Bien souvent, comme dans un grand nombre de lampes du reste, on la munit de son

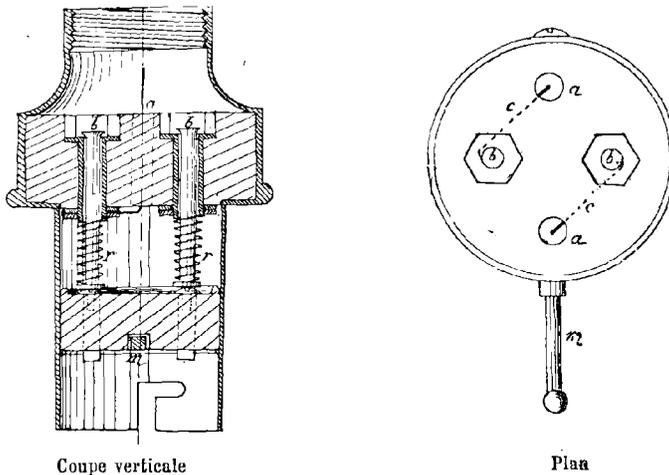


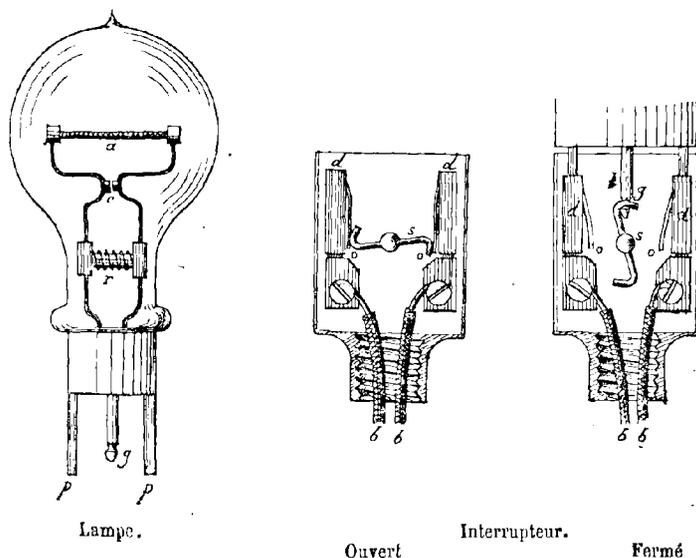
Fig. 164. — Douille avec son interrupteur.

*a, a*, conducteurs fixes d'amenée du courant aboutissant par les fils *c* aux contacts *b, b*, que deux ressorts *r, r* appuient contre le cylindre mobile en porcelaine mu par la manette *m*.

interrupteur (fig. 164). A cet effet, elle contient intérieurement un cylindre mobile, qu'une tige passant au travers d'une fente de la douille, permet de faire tourner. Ce cylindre est formé par une substance isolante, de la porcelaine en général, mais il est traversé par deux fils métalliques. Dans une certaine position, ces conducteurs forment la continuation entre les fils de la lampe et les câbles d'amenée du circuit. Si

l'on vient à déplacer le cylindre mobile de 90 degrés, le contact étant rompu, le courant ne passe plus. Cette disposition très avantageuse est actuellement très répandue, elle ne constitue pas une particularité de la lampe de Khotinsky.

**Lampe Bernstein.** — On construit également des lampes à incandescence de faible voltage, mais par contre de grande intensité; parmi ces appareils il convient de citer, à titre d'exemple, la lampe Bernstein, de Hambourg. Le filament, assez gros, est obtenu par la calcination d'un ruban creux en soie blanche fixé aux conducteurs en platine par l'intermédiaire de deux petites masses d'émail. Le culot de la lampe est construit comme précédemment, sauf qu'il se prolonge par des fils de cuivre destinés à assurer le contact avec la monture de la lampe.



*a*, filament en coton calciné;  
— *r*, ressort tendant à établir le contact *c*; — *p, p*, prolongements en cuivre des conducteurs de la lampe.

*b, b*, câbles d'amenée du courant; — *d, d*, conducteurs creux à parois intérieures *oo*, formant ressorts; — ils reçoivent les prolongements *p, p*; — *s*, clef servant à maintenir le bouton *g* ou les ressorts *oo*.

Fig. 165. — Lampe Bernstein avec son interrupteur.

Les lampes Bernstein sont généralement montées en série, il en résulte que si le filament de l'une d'elles vient à se rompre, elle doit être mise en court circuit. Pour cela, les deux fils qui supportent le filament sont très rapprochés en un point. Un ressort tend à les faire toucher, mais la résistance mécanique du fil s'oppose à ce mouvement et empêche tout contact jusqu'au moment de sa rupture (fig. 165).

Quant à la monture, elle présente une particularité au point de vue du remplacement des lampes. On ne peut pas retirer la lampe avant d'avoir mis les conducteurs de la douille en court circuit, de même il n'est possible de supprimer la liaison directe qu'après avoir intercalé une nouvelle lampe. Ces divers résultats sont obtenus d'une façon très ingénieuse. La douille porte deux conducteurs creux à section carrée destinés à recevoir les prolongements en cuivre des filaments de la lampe. Les parois intérieures de ces conducteurs sont formées par deux ressorts plats. Le culot de la lampe est muni, en outre, au milieu d'une tige avec un bouton à l'extrémité. Une pièce spéciale en forme d'S, mue par une clef extérieure, vient maintenir le bouton de la tige de la lampe. Pour retirer cette dernière, il faut déplacer de 90° la pièce en S, qui met alors en circuit direct les ressorts des conducteurs de la douille. La clef de contact ne peut être tournée de nouveau qu'à la condition d'avoir intercalé une nouvelle lampe dont les conducteurs prolongés soulèvent les ressorts.

Le nombre des lampes à incandescence dans le vide est très considérable, et il serait fastidieux de décrire tous les types en usage; leur construction se rapproche en principe de celle des systèmes précédents.

**Fonctionnement.** — La lampe à incandescence est un appareil d'un entretien commode et d'un fonctionnement très régulier; mais il faut reconnaître qu'elle n'est pas très économique. Le rendement lumineux, c'est-à-dire le rapport entre le pouvoir éclairant et l'énergie dépensée atteint à peine 10 % (M. Blattner). La consommation en effet est de 3<sup>w</sup>,5 par bougie. On est arrivé cependant à ramener ce chiffre à 1<sup>w</sup>,5, mais cette faible consommation est acquise au détriment de la durée de l'appareil.

Cette énergie peut être absorbée de deux façons, à forte intensité et faible tension ou inversement à fort voltage et faible intensité. Dans les deux cas, les lampes sont un peu différentes et n'ont pas les mêmes propriétés. Les lampes à fort voltage, c'est-à-dire à grande résistance et par conséquent à fil fin, ont un rendement plus élevé; le diamètre des conducteurs amenant le courant est plus faible; mais par contre le filament se brise à la moindre augmentation d'intensité du courant. Dans ces appareils la tension est supérieure à 110 volts. Les autres lampes au contraire résistent mieux aux changements du courant, le filament plus gros se brise moins vite; la lumière au début semble plus blanche,

mais comme le verre ne tarde pas à noircir cet avantage ne dure pas longtemps. Ce sont les plus répandues ; leur tension est de 110 volts ou au-dessous.

D'une manière générale, la lampe à incandescence est très sensible aux changements de voltage. Pour une augmentation de un volt ou deux, la lumière passe du rouge sombre au blanc éblouissant, mais cet accroissement s'acquiert au détriment de la durée du filament. C'est pour la même raison que dans tout éclairage par incandescence, la distribution du courant doit être faite de manière à avoir dans toutes les lampes la même tension, aussi emploie-t-on des dynamos à voltage constant. On peut choisir ce dernier de deux façons. Dans le cas où l'énergie coûte bon marché, on augmente la durée des lampes en abaissant le voltage, au contraire, si les lampes sont d'un prix relativement bas, on diminue la dépense d'énergie en augmentant leur rendement. La durée moyenne d'une lampe est de 800 à 1.200 heures.

Sa puissance lumineuse est très variable, on en construit depuis 4 à 5 bougies jusqu'à 1.000 bougies. Les plus répandues sont celles de 8, 10, 16 et 20 bougies, on les rencontre couramment dans le commerce ; les autres intensités s'obtiennent le plus souvent sur commande ; l'emploi des fortes intensités commence cependant à se généraliser.

L'intensité lumineuse de ces lampes n'est pas uniforme dans toutes les directions ; elle atteint son maximum dans le plan même du filament, et son minimum dans la direction perpendiculaire. Aussi doit-on, comme pour les autres appareils d'éclairage, déterminer l'intensité moyenne sphérique. Elle est égale aux trois quarts de l'intensité horizontale prise dans un plan à 45 degrés avec celui du filament.

Avec le temps, l'intensité lumineuse diminue ; dans certaines applications, il est même nécessaire de renouveler les lampes avant leur usure complète.

Cette diminution est due en partie au noircissement de l'ampoule occasionné par un dépôt de carbone provenant du filament. Certains constructeurs pour diminuer ce dépôt ne font pas le vide absolu, le gaz qui reste empêchant la désagrégation du carbone. On reconnaît que le vide dans une lampe est imparfait lorsque au bout d'une heure ou deux de fonctionnement, l'ampoule s'échauffe démesurément par suite de la conductibilité du gaz.

Pour que la durée d'une lampe soit normale, il faut que le filament ait partout la même épaisseur. On s'assure que cette condition est remplie,

lorsqu'en faisant passer un courant très faible, de manière à porter le filament au rouge sombre, aucune partie ne devient brillante.

Du reste, avant d'être livrées à la consommation, les lampes sont essayées et étalonnées. Pour faire cet essai, on envoie un courant suffisant de manière à obtenir au photomètre l'intensité lumineuse demandée; à ce moment on mesure la tension, et c'est le nombre de volts indiqué qui fixe l'étalonnage de l'appareil. Généralement ce chiffre est différent pour deux lampes de même intensité lumineuse; c'est en partie pour ce motif que le montage en série des lampes à filament faible est très difficile : on est obligé de recourir à des lampes à gros filament. Ce mode de distribution est encore peu répandu, d'autant plus qu'il nécessite certaines précautions, en particulier celle de munir la lampe d'organes complémentaires permettant son remplacement sans gêner le fonctionnement des autres.

**Montage.** — Les lampes sont fixées dans des montures à vis ou à baïonnette. Il n'y a du reste qu'un seul système à éviter, c'est la monture à crochets qui ne tarde pas à détruire les fils de platine.

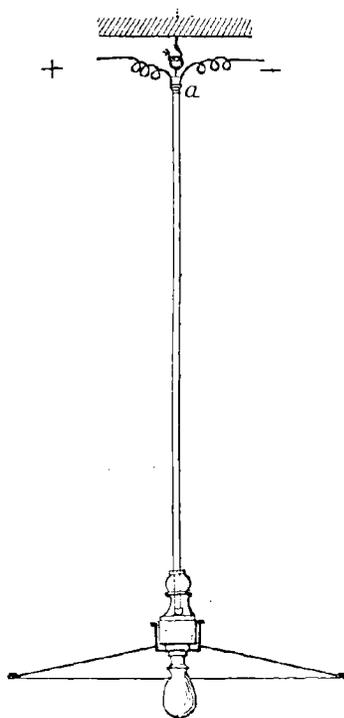


Fig. 166.

Suspension des lampes à incandescence

Les douilles à leur tour doivent être placées dans les endroits convenables pour le bon éclairage des locaux. Les fils, qui leur amènent le courant, ne doivent être dénudés que sur une faible longueur de manière à éviter tout contact. On retrouve en somme toutes les dispositions employées pour les appareils à gaz, ce sont du reste les mêmes appareilleurs, qui font actuellement ces deux genres d'installation. La lampe à incandescence se prête cependant mieux aux effets décoratifs.

On peut en effet donner aux lampes toutes sortes de positions et les conducteurs peuvent affecter les courbes les plus variées. Les suspensions peuvent être disposées en forme de *té*, de *lustre*, ou de *lampe suspendue* isolément. L'appareil est fixé à l'extrémité d'un tube creux

métallique dans lequel passent les fils d'alimentation. Ce tube est maintenu au plafond par l'intermédiaire d'un raccord métallique fixé par des vis contre un tampon en bois scellé dans le plâtre. Une rosace ornementée peut cacher ce raccord. On peut également employer un simple crochet soutenant une tige ronde en bois contenant les fils conducteurs (fig. 166). Lorsqu'on a affaire à une seule lampe, on supprime souvent le tube creux en soutenant directement la lampe par les fils conducteurs eux-mêmes. Il faut avoir soin dans ce cas de ne pas faire supporter tout le poids de l'appareil directement par le câble, mais bien par un nœud de ce dernier reposant alors sur la rosace fixée au plafond.

Lorsqu'il s'agit de placer l'appareil contre la muraille on emploie des *appliques* ou *bras fixes* à une ou plusieurs branches.

La tige rigide creuse contenant les fils conducteurs est fixée au mur au moyen d'un raccord contre un tampon en bois.

Les lampes à incandescence mobiles sont très employées, elles ne présentent pas les mêmes dangers que les lampes mobiles à gaz. Souvent, lorsque le gaz et l'électricité existent concurremment, on profite des appareils à gaz pour supporter les lampes à incandescence ; les conducteurs électriques suivent les conduites de gaz et sont disposés de façon à n'être pas apparents. Dans ces conditions, on peut mettre en service l'un ou l'autre éclairage. Mais les conducteurs électriques doivent être isolés avec beaucoup de soin.

Dans quelques cas particuliers, comme pour l'éclairage des navires par exemple, les lampes ne peuvent être fixées directement on les suspend alors au moyen d'un câble souple qui permet aux conducteurs de résister aux secousses. Les conducteurs présentent alors un excédent de longueur pour leur permettre de suivre les oscillations de la lampe.

On avait au début imaginé des genouillères identiques à celles des brûleurs à gaz, mais leur fonctionnement laissait à désirer, les contacts devenaient rapidement insuffisants. Il vaut mieux employer d'autres dispositions.

**Réflecteurs. Entretien.** — En général, les lampes à incandescence sont munies de réflecteurs en porcelaine, en tôle émaillée ou nickelée, ne présentant rien de particulier. Leur mise en place est très facile ; le réflecteur est maintenu au moyen de trois griffes, ou bien encore il est muni d'une sorte de douille, fixée au support de la lampe par une goupille. Une disposition ingénieuse consiste à entourer

l'ampoule d'une tulipe en verre de l'aspect le plus gracieux. Elle permet en outre de donner à l'ensemble de l'appareil les formes les plus variées. On peut du reste au lieu d'ampoule adopter d'autres dispositions en rapport avec la décoration des locaux à éclairer.

L'entretien des lampes à incandescence est des plus simples. Il consiste seulement à enlever la poussière. La monture est essuyée avec un chiffon imbibé d'essence et les prises de courant sont polies de temps à autre, au moyen du papier à l'émeri pour assurer un bon contact.

Les lampes doivent toujours être employées à l'abri de l'humidité, qui ne tarde pas, soit à oxyder les contacts, soit à dériver le courant. C'est un peu dans ce but que les culots se font en vitrite et autres matières peu hygrométriques. Lorsqu'on veut éclairer les caves ou les couloirs, on emploie des lampes suspendues ou bien on les enferme dans des cages vitrées.

Quant au choix à faire entre les divers types de lampes courants, il est difficile d'en préconiser un plus spécialement. La plupart fonctionnent parfaitement ; la question du prix d'achat et de la durée priment toutes les autres conditions et en particulier celle du rendement.

Il en est de même de la préférence à donner aux douilles à vis ou à baïonnette. Ce dernier système commence cependant à se répandre davantage à cause de sa grande simplicité, bien qu'il assure avec les conducteurs un contact moins parfait que celui à vis. L'insuffisance de contact doit être évitée avec soin, car, en amenant la détérioration du scellement elle favorise les rentrées d'air.

Il résulte de tout ce qui précède que l'éclairage par incandescence a pour lui deux grandes qualités ; la simplicité et la commodité, avantages qui expliquent en partie le succès de cette source lumineuse.

---

## IX. — Appareils complémentaires

---

### 1° INSTRUMENTS DE MESURE.

Dans toute installation, il est nécessaire à chaque instant d'être renseigné sur le fonctionnement des sources d'énergie ou des appareils de consommation. Ce résultat ne peut être obtenu qu'en connaissant la valeur du débit et de la force électromotrice du courant employé. Les appareils de mesure usités en pareil cas sont les *ampèremètres* et les *voltmètres*.

**Ampèremètres.** — L'ampèremètre, comme son nom l'indique, sert à mesurer l'intensité d'un courant ou le nombre d'ampères qui traversent un conducteur déterminé. Il est indispensable dans toute distribution en série, où l'intensité doit être maintenue constante. On le place presque toujours sur le circuit même du courant à mesurer.

Le nombre des ampèremètres est assez considérable, mais ils sont tous basés sur le déplacement relatif de deux champs magnétiques voisins, résultant des propriétés mêmes des lignes de force, qui, suivant qu'elles sont de même sens ou de sens contraire, se repoussent ou s'attirent. On fait équilibre à l'action de ces deux champs au moyen d'une force antagoniste graduée, et c'est en mesurant de la sorte, la valeur de cette dernière, qu'on connaît par comparaison celle des deux champs. L'un des champs est fourni par le courant à mesurer ; il est donc variable à chaque instant ; l'autre au contraire est fixe : il est produit, soit par un aimant permanent, soit par un courant constant.

Dans le cas d'un aimant permanent, l'appareil est désigné plus spécialement sous le nom de *galvanomètre* : c'est en quelque sorte la reproduction de l'expérience d'Oerstedt, dans laquelle une aiguille aimantée, soumise à l'action d'un circuit, tend à se mettre en croix avec lui. Toutefois, dans le cas du galvanomètre, une force antagoniste s'oppose à ce mouvement, et sa valeur est d'autant plus grande que celle du champ

à mesurer c'est-à-dire du courant, est considérable. Il suffit dès lors de déterminer la valeur du déplacement relatif pour connaître par comparaison l'intensité du courant à mesurer. On peut prendre comme exemple un galvanomètre très répandu, celui de Deprez-D'Arsonval.

Entre les branches d'un aimant permanent vertical, se trouve placée une bobine, en forme de cadre rectangulaire, parcourue par le courant à mesurer; elle est enroulée autour d'un cylindre creux, en fer doux, qui renforce le champ. L'ensemble est suspendu à un fil, dont la torsion s'oppose progressivement au déplacement du cadre dévié, et tend à le ramener au zéro. Il suffit de lire la déviation du cadre pour connaître la valeur du courant. La lecture de cette déviation nécessite des précautions un peu spéciales, qui ont amené l'emploi de dispositifs particuliers.

Dans le cas où l'aimant permanent est remplacé par une bobine parcourue par un courant fixe, l'ampèremètre porte le nom plus spécial d'*électro-dynamomètre*. Le principe est le même que celui du galvanomètre; la force antagoniste est produite souvent par un ressort ou par la torsion d'un fil. Dans la position d'équilibre, les deux bobines sont dans des plans perpendiculaires, et l'appareil est orienté de manière à avoir l'axe de la bobine mobile dans le plan du méridien magnétique. Lorsqu'on fait passer un courant dans chaque bobine, celle qui est mobile est déviée; il suffit de lire la déviation pour connaître l'intensité du courant. Le plus souvent, au courant fixe, on substitue une fraction parfaitement connue du courant à mesurer, l'intensité est alors proportionnelle à la racine carrée de la déviation. Cette disposition a un avantage; en effet le courant, pouvant changer de sens à la fois dans les deux bobines, la déviation reste la même, d'où il résulte que cet instrument peut servir à la mesure des courants alternatifs, ce qui n'avait pas lieu avec les galvanomètres. On peut citer comme appareil assez exact l'électro-dynamomètre de *Siemens*, dont la bobine fixe est à deux circuits: un à gros fil pour les courants de forte intensité, et l'autre à fil fin pour les courants plus faibles. La force antagoniste est produite par la torsion d'un fil entraînant dans son mouvement une aiguille se déplaçant sur un cadran horizontal.

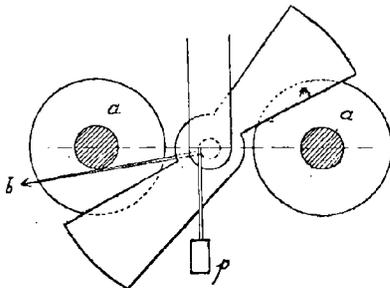
Au lieu de faire équilibre à l'action mutuelle des deux circuits, par la torsion d'un fil, on peut recourir à la pesanteur (appareil Pellat); on a alors des instruments très précis.

Les ampèremètres industriels affectent les formes les plus diverses.

On cherche surtout à en faire des appareils robustes, simples, et d'une lecture facile. Leurs indications, bien que d'une exactitude relative, sont cependant suffisantes.

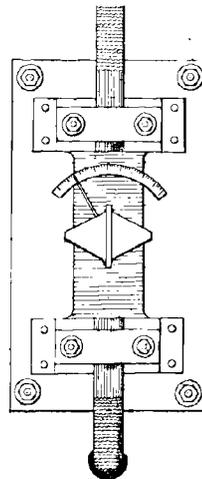
Le plus souvent, ils consistent en une simple lame de fer doux, placée dans le champ d'un électro, excité par le courant à mesurer. La lame flexible, munie d'un index, tend à revenir au zéro, sous l'action de la pesanteur ou de toute autre force antagoniste. On supprime ainsi l'aimant permanent dont le magnétisme, à la longue, tend à s'affaiblir.

Lorsque le courant passe, l'aiguille est déviée plus ou moins, suivant la valeur de l'intensité du champ, et par suite du courant. Tel est le principe de l'ampèremètre, construit par la maison Richard (fig. 167). On peut citer encore, comme disposition fort simple, celle qui a été adoptée à l'usine du Palais-Royal de la Société Edison. Il y a un ampèremètre par circuit, dont la lecture est très facile (fig. 167).



Ampèremètre Richard.

*a, a*, électros excités par le courant à mesurer ; — *b*, aiguille du barreau de fer doux attiré par les électros ; — *p*, contrepoids ramenant l'aiguille au zéro.



Indicateur de courant de la Société Edison.

L'aiguille déviée par le passage du courant dans le conducteur, se déplace le long du secteur vertical gradué.

Fig. 167. — Ampèremètres.

**Voltmètres.** — Les voltmètres sont destinés à mesurer la différence de potentiel entre deux points déterminés. Leur emploi est surtout indispensable dans les installations où les lampes sont en dérivation, car on est obligé de maintenir alors le voltage constant. Le voltmètre se monte en dérivation sur le circuit dont on veut mesurer le potentiel. Il en résulte que, si l'ampèremètre est un appareil à gros fil, le voltmètre, au contraire, est à fil fin et très résistant.

Le nombre des voltmètres est considérable ; mais, comme il s'agit

dans les mesures industrielles de rendre les indications rapides, on a recours à certains galvanomètres établis spécialement dans ce but. En réalité, ces appareils mesurent l'intensité du courant qui les parcourt, et, comme cette intensité est proportionnelle au voltage, il suffit de déterminer, une fois pour toutes, la valeur de ce rapport, qui n'est autre que la résistance, pour graduer l'appareil en conséquence. Ils ne peuvent servir que pour les courants continus. Comme on le voit, dans ce cas, il n'y a de différence d'un ampèremètre à un voltmètre que dans la dimension des organes et dans la graduation.

Pour les courants alternatifs, il faut recourir à d'autres dispositions : on peut employer le voltmètre *Cardew*, basé sur la dilatation d'un fil métallique parcouru par le courant à mesurer. La dilatation étant proportionnelle à la quantité de chaleur, celle-ci à son tour dépend du voltage, et il est très facile de mesurer l'un par l'autre, sans avoir à s'inquiéter du sens du courant. Le fil, constitué par un alliage de platine et d'argent, mesure 4 mètres de longueur ; il est disposé en quatre brins parallèles passant sur des poulies d'ivoire. Une des extrémités du fil est fixe, l'autre est attachée à un ressort qui tend le fil. Les variations de longueur sont amplifiées par des engrenages qui commandent une aiguille se déplaçant sur un cadran. Pour supprimer l'influence de la température ambiante les fils sont enfermés dans un tube en laiton dont la dilatation est la même que celle des fils de platine. L'appareil ne mesure donc que la différence de température entre le tube et les fils.

Les ampèremètres et les voltmètres doivent être étalonnés de temps à autre, car leurs indications ne tardent pas à être fausses.

Quelquefois il est nécessaire, avec un appareil de faible puissance, de mesurer des courants très intenses. On a recours alors à des réducteurs ou *shunts*, destinés à ne laisser passer qu'une fraction parfaitement connue du courant. Dans le cas d'un ampèremètre, le réducteur n'est autre qu'un conducteur de débit déterminé, monté en dérivation sur le circuit de l'ampèremètre. Dans le cas d'un voltmètre, ce réducteur, au contraire, est monté en tension avec le fil conducteur du voltmètre.

Actuellement, toute installation électrique comporte les deux appareils précédents. Les indications peuvent être ou continues ou momentanées. Dans le premier cas, il est nécessaire de ne pas perdre de vue que le conducteur de l'appareil de mesure s'échauffe par le passage du courant, condition qui peut modifier essentiellement ses indications à

moins d'avoir été gradué à chaud. On doit adopter ce mode de graduation dans les instruments à indication permanente.

Lorsqu'il y a un grand nombre d'appareils, pour éviter toute confusion, quelques-uns sont disposés de manière à *enregistrer* leurs indications. L'aiguille indicatrice est munie d'une pointe traçant d'une façon continue une courbe sur une feuille de papier quadrillé entraînée par un mouvement d'horlogerie. De cette façon, on peut se rendre compte des variations accidentelles survenues à chaque instant dans le régime.

Il est quelquefois urgent surtout lorsqu'il s'agit de lampes à incandescence d'être averti que le voltage est sur le point d'atteindre des valeurs capables de compromettre la sécurité des appareils. On emploie alors des *voltmètres avertisseurs*. L'aiguille indicatrice se déplace entre deux butées de contact correspondant aux points critiques (fig. 168).

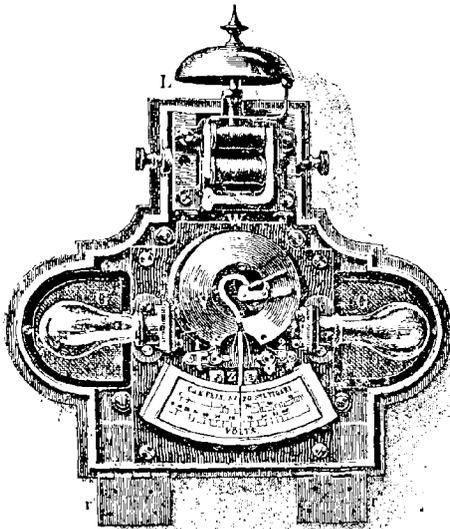


Fig. 168. — Voltmètre avertisseur.

1, 2, butées de contact limitant la course de l'aiguille Z du voltmètre W;  
G, G' lampes de couleur : — L, sonnerie.

Lorsqu'elle atteint cette valeur elle ferme par le moyen de la butée un circuit sur lequel on peut avoir intercalé une lampe de couleur avec sonnerie. Mais cette complication n'est utile, que lorsque l'installation atteint une certaine importance.

Le voltmètre, se montant en dérivation, il est important de bien placer les prises de courant entre les points dont il s'agit de mesurer la

différence de potentiel. Dans les cas des lampes à arc ou de feeders, c'est aux bornes des lampes ou des feeders et non à celles de la machine que doit être prise la dérivation. Lorsqu'il s'agit d'installations à voltage constant, les indications dans le voisinage de ce voltage doivent être aussi exactes que possible.

**Compteurs.** — Les appareils précédents ne donnent aucune indication sur l'énergie totale produite ou consommée; seul, l'ampèremètre enregistreur indiquant à la fois et le temps et le débit, mesure la quantité d'électricité, et, si la tension est demeurée constante, il suffira de multiplier cette quantité par le voltage pour avoir l'énergie totale enregistrée. Mais ce cas n'est qu'une exception et l'on est obligé d'avoir recours à d'autres appareils. L'emploi de compteurs date de la mise en service des stations centrales; au point de vue de la consommation d'éclairage, il est bien plus équitable que l'abonnement par lampe, il suffit de se rappeler du reste les considérations qui ont fait adopter d'une manière absolue le compteur à gaz.

Le nombre des compteurs électriques est assez élevé. En 1890, la Ville de Paris avait établi un concours pour fixer le choix d'un compteur répondant à tous les besoins et dont l'emploi puisse être dans la suite soumis aux mêmes règles que celles du compteur à gaz. Mais la diversité entre les divers modes de distribution du courant et les courants eux-mêmes rendit ce choix impossible et aucun des modèles présentés ne fut admis d'une manière définitive.

Ces appareils en effet assez compliqués ne sont pas du tout les mêmes, lorsqu'il s'agit de courants continus ou alternatifs; quelques-uns cependant fonctionnent également bien dans les deux cas. Mais à cette condition, il faut en ajouter bien d'autres loin d'être réalisées. D'une manière générale un compteur doit consommer peu d'énergie, être exact dans toute l'étendue de ses indications et enfin coûter bon marché, car l'on se trouve dans l'obligation d'en établir chez chaque abonné.

Actuellement, il y a deux catégories bien distinctes de compteurs : les uns ne totalisant que la quantité d'électricité consommée, ce sont des ampèremètres enregistreurs qui ne deviennent de vrais compteurs d'énergie que dans le cas d'un voltage constant; les autres, au contraire, tiennent compte des variations dans le voltage et l'intensité, ce sont des wattmètres dont les indications sont bien plus générales que celles des appareils précédents.

*Compteur Edison.* — Parmi les premiers, il convient de citer le compteur Edison, qui est le plus ancien. Il est basé sur l'action chimique des courants sur les dissolutions salines. On fait passer une fraction parfaitement connue du courant à mesurer dans deux voltamètres renfermant une dissolution de sulfate de cuivre; les électrodes sont formées par des lames de cuivre. Sous l'action du courant, le liquide est décomposé et le poids du métal déposé sur l'électrode négative est proportionnel à l'intensité du courant. Il suffit donc à certains intervalles de peser les électrodes pour connaître la quantité de matière déposée et par suite d'énergie débitée. Au lieu de recourir à la pesée toujours délicate et ennuyeuse, Edison avait imaginé de suspendre les électrodes aux fléaux d'une balance. Lorsque la lame de cuivre correspondant au pôle négatif, était recouverte d'une certaine quantité de métal, la balance s'inclinait changeant les connexions; c'était la deuxième lame qui se recouvrait alors de métal. Il suffisait donc d'enregistrer le nombre des oscillations de la balance, pour connaître la quantité d'électricité débitée.

On peut du reste imaginer d'autres combinaisons dispensant de la pesée, mais cette dernière est plus exacte et on a du y revenir presque toujours. Le compteur Edison ne s'est guère répandu à cause des nombreuses manipulations qu'il nécessitait. Il est cependant encore employé aux États-Unis.

Le même principe a été admis dans le compteur Desruelles et Chauvin; il ne diffère du précédent que par l'enregistreur supprimant les pesées.

Dans tout compteur chimique, il est nécessaire que la dissolution soit très pure et que la distance des électrodes soit constante. On doit empêcher la solidification du liquide en cas de gelée. A cet effet, dans le compteur Edison une lame bimétallique placée au-dessous de la boîte des voltamètres établissait, en se courbant par suite de l'abaissement de température, un contact qui allumait une lampe à incandescence réchauffant l'air ambiant. Ces compteurs s'établissent généralement en dérivation sur le circuit du courant à enregistrer.

*Compteurs Aron.* — Parmi les ampèremètres très connus, il convient de citer celui du docteur Aron.

Deux pendules battant la seconde agissent sur un mécanisme intermédiaire indiquant la différence de leur durée d'oscillation. Lorsqu'il

n'y a aucune action électrique, l'effet des deux pendules sur l'appareil enregistreur s'annule. L'un des pendules porte à son extrémité un barreau aimanté se déplaçant au-dessus d'un solénoïde parcouru par le courant à mesurer. On comprend aisément qu'au passage du courant le mouvement du pendule portant l'aimant soit modifié et que l'enregistreur indique cette différence.

L'action du champ du solénoïde dépend naturellement de la valeur de l'intensité du courant. Il suffit de procéder par comparaison et de fixer le coefficient de l'appareil pour déduire la valeur en watts de l'énergie consommée. Ce compteur a plusieurs inconvénients ; d'abord la nécessité de remonter tous les 40 jours les mouvements d'horlogerie, de plus, si l'un des pendules vient à s'arrêter, toutes les indications sont faussées et l'appareil peut même rétrograder. Il est en outre facile de faire varier la valeur du champ par l'addition de masses magnétiques dans le voisinage de ce champ.

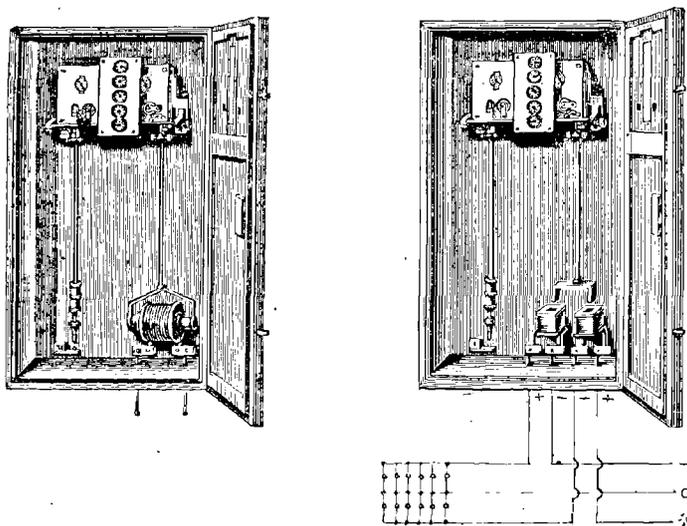


Fig. 169. — Compteurs Aron.

En remplaçant l'aimant par une bobine en dérivation sur le courant principal, ce compteur devient un véritable wattmètre, pouvant même servir à la mesure des courants alternatifs avec une exactitude suffisante. Lorsqu'on veut l'utiliser dans la distribution à trois fils, on dispose deux aimants oscillant au-dessus de deux bobines (fig. 169). Ce compteur est assez répandu.

*Compteur Elihu-Thomson.* — Dans la plupart des compteurs d'énergie, on n'a pas eu recours comme dans celui du docteur Aron à une force étrangère pour produire le mouvement de rotation des organes enregistreurs. Un très grand nombre, au contraire, comportent un petit moteur électrique dont la vitesse est rendue proportionnelle à l'énergie du courant. Il suffit donc d'enregistrer cette vitesse ou mieux le nombre de tours pour connaître la valeur de l'énergie consommée. Tous ces appareils ne diffèrent que par la manière de rendre à chaque instant la vitesse proportionnelle à l'énergie.

Dans le compteur Elihu Thomson ce résultat est obtenu d'une façon fort simple. L'arbre du moteur porte un disque en cuivre rouge se déplaçant entre les branches d'un aimant qui s'oppose, par suite de la formation de courants induits, au mouvement de ce disque. La résistance est d'autant plus grande que la vitesse du disque, c'est-à-dire du moteur, est élevée. En résumé, tout le travail produit est absorbé par le déplacement du disque de cuivre entre les branches de l'aimant, et la vitesse du moteur est à chaque instant proportionnelle à l'énergie qui le met en mouvement.

Ce dernier constitue une sorte d'électro-dynamomètre dont l'une des bobines, celle qui forme l'inducteur, présente un fil assez gros pour être parcouru par le courant total à mesurer. L'induit absolument sans fer est excité par une faible dérivation de ce courant.

Au lieu d'employer un aimant pour absorber le travail produit par le moteur électrique, on s'est servi également de palettes plongeant dans un liquide. Les résultats sont sensiblement les mêmes que précédemment, toutefois le compteur absorbe alors beaucoup trop d'énergie pour son propre fonctionnement. On reproche déjà au compteur Thomson d'exiger 1 à 20/0 du courant à mesurer. Cet appareil dont la marche est très régulière, peut servir aussi bien pour les courants alternatifs que pour les courants continus.

*Compteur Brillé.* — Avec le compteur Brillé, on arrive au même résultat en employant des moyens différents. Il est formé par un électro-dynamomètre ordinaire (fig. 170) dont la bobine à gros fil est traversée par le courant total à mesurer, celle à fil fin est excitée en dérivation. Sur l'axe de cette dernière se trouve monté un disque en cuivre, compris entre deux équipages mobiles d'aimants, dont les pôles en face l'un de l'autre constituent un champ magnétique puis-

sant. Ces aimants sont animés d'un mouvement de rotation, qui leur est transmis au moyen d'engrenages, par un petit moteur électrique.

Lorsque le courant passe, l'électro-dynamomètre quitte sa position d'équilibre et déplace le disque d'un certain angle. L'équipage d'aimants

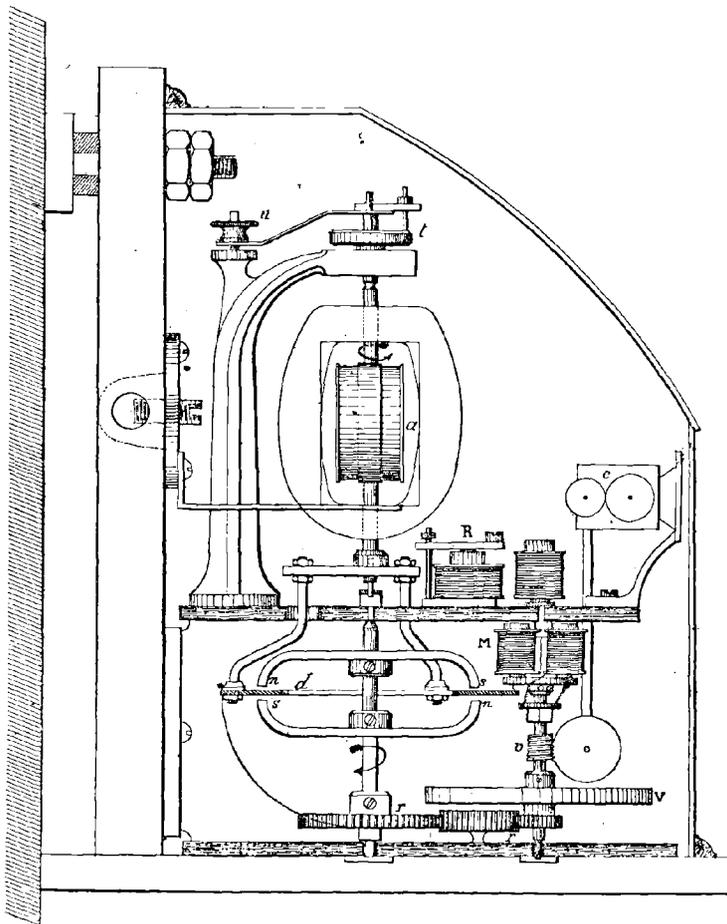


Fig. 170. — Compteur Brillé.

*a*, électro-dynamomètre dont l'axe supporte le disque de cuivre *d*; — *s*, *n*, électros recevant un mouvement de rotation du moteur *M*, par l'entremise de la transmission *r*; — *v*, vis sans fin faisant mouvoir le cadran *C*; — *V*, volant de réglage; — *R*, résistance intercalée sur le circuit du moteur par l'électro-dynamomètre.

de son côté, entre en rotation et tend à ramener à sa position primitive, c'est-à-dire au zéro, le disque et par suite la bobine correspondante. L'effort exercé par les aimants est proportionnel à leur vitesse et comme il fait équilibre à celui de l'électro-dynamomètre, c'est-à-dire à

l'énergie du courant, il en résulte constamment que cette vitesse est proportionnelle au nombre de watts.

La puissance étant variable à chaque instant, il faut que la vitesse le soit également, ce résultat est obtenu en intercalant sur le circuit excitateur du petit moteur des résistances auxiliaires que l'électro-dynamomètre ajoute lui-même. Si la vitesse est trop faible, ce dernier ne peut être ramené au zéro, il agit donc pour l'augmenter. Au contraire, si elle est trop grande, il dépasse le zéro, l'électro-dynamomètre intercale des résistances en conséquence.

Il suffit donc d'enregistrer le nombre de tours pour avoir à chaque instant l'énergie consommée. Le petit moteur comporte deux bobines fixes formant inducteurs; au-dessous trois bobines mobiles montées sur une sorte d'armature Gramme constituent l'induit. Un petit volant en régularise le mouvement. Les résistances intercalées sur le circuit du moteur correspondent à des fiches sur lesquelles un contact mobile se déplace suivant la position de l'électro-dynamomètre.

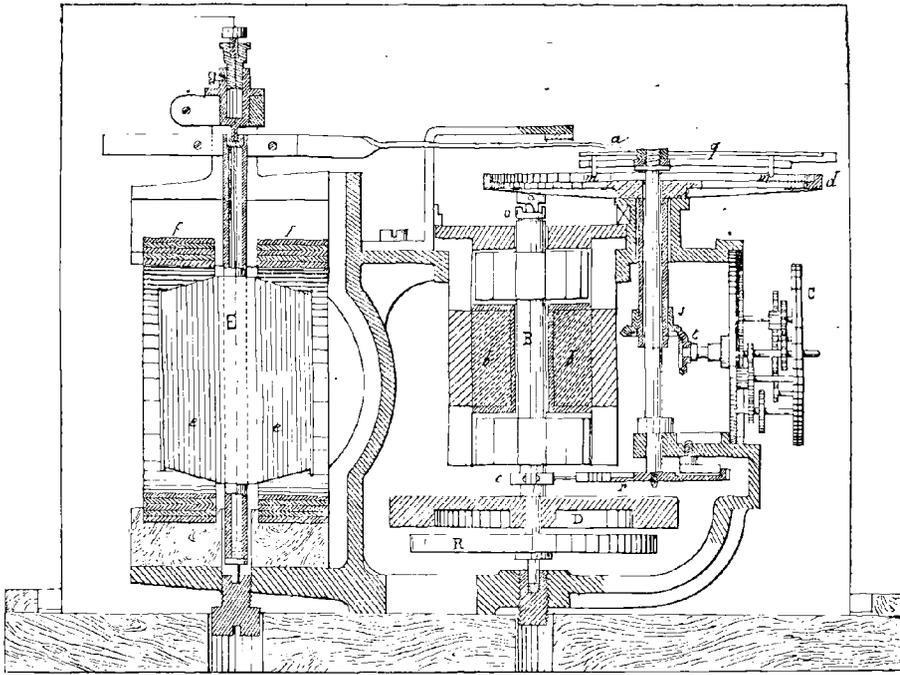
Tel est le principe de ce compteur, dont les organes doivent être établis avec beaucoup de soin. Il est très sensible et compte aussi bien pour deux que pour mille lampes. Il consomme 0,2 à 0,5 pour 100 de l'énergie enregistrée.

*Compteur Frager.* — Un compteur mécanique ou wattmètre très employé est celui de M. Frager. Il comporte trois parties principales (fig. 174) :

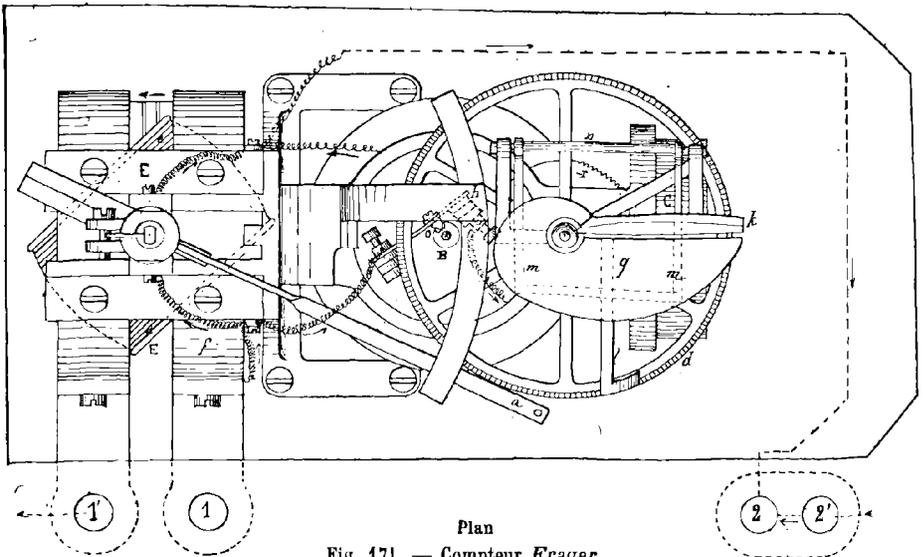
- 1° Un électro-dynamomètre donnant à chaque instant la mesure de la puissance ;
- 2° Un mécanisme d'horlogerie indiquant la durée du passage du courant ;
- 3° Un compteur enregistrant sur un cadran le produit de la puissance par le temps ou l'énergie consommée.

L'*électro-dynamomètre* a sa bobine mobile composée de deux solénoïdes à fil fin. La bobine fixe est également à deux solénoïdes à gros fil enroulés en sens contraire et reliés entre eux. Un index indique les déviations de la bobine mobile excitée par une dérivation du circuit à mesurer.

Le *mouvement d'horlogerie* ne doit fonctionner que pendant le passage du courant. Il est constitué par un balancier ou ressort à spirale, battant la seconde, dont le mouvement est entretenu par le courant lui-même.



Coupe verticale



Plan

Fig. 171. — Compteur *Frager*.

*e, e*, bobines mobiles suspendues au fil *E* et se déplaçant à l'intérieur des bobines fixes *f, f* ; — *a*, aiguille de l'électro-dynamomètre ; ses oscillations sont limitées par le secteur *h* ; — *B*, balancier mis en mouvement par les électros *bb*, et ramené par le ressort en spirale *R* ; — *o*, charpeau envoyant par intermittence le courant aux électros *bb* ; — *D*, volant de réglage ; — la roue à rochet *r*, mus par le cliquet *c*, donne un mouvement de rotation à la came *g*, oscillant au moyen des tiges *m, m* autour de l'axe *n* ; — *k*, rail soulevant l'aiguille *a* ; — lorsque *a* appuie sur la came *g*, les roues *d* et *s* reçoivent un mouvement de rotation qui se transmet au cadran *G* par l'intermédiaire de l'arbre *t* ; — 1, 2, bornes du circuit principal ; — 1', 2', bornes du circuit local.

Le courant doit produire la rotation du balancier dans un sens, et le ressort doit le ramener à sa position primitive. Sur l'axe de l'arbre de ce balancier, se trouvent montées une série d'ailettes se déplaçant dans l'intérieur d'électros excités par intermittence. Ce résultat est obtenu au moyen de la disposition suivante. A la partie supérieure, le balancier porte un chapeau avec une échancrure dans laquelle vient se loger un taquet fixé sur un ressort plat ; quand le taquet est dans l'échancrure, le courant arrive aux électros par l'intermédiaire de ce ressort. Lorsque le taquet est soulevé par le chapeau, le contact est rompu, les électros ne sont plus excités, et à ce moment le ressort en spirale placé à la partie inférieure du balancier le remet dans sa position primitive. Le mouvement oscillatoire du pendule dure donc autant que le passage du courant.

Chaque oscillation du pendule transmet son mouvement au moyen d'un cliquet à une roue de 100 dents montée sur l'arbre de l'enregistreur, qui avance d'une dent à chaque oscillation du balancier. Cet arbre fait donc un tour en 100 secondes.

L'arbre de l'*enregistreur* porte à sa partie supérieure un plan incliné qui soulève à chaque tour l'aiguille de l'électro-dynamomètre. Lorsque ce plan incliné abandonne cette aiguille, elle retombe en vertu de son élasticité sur une came tournant avec l'arbre de l'enregistreur. Cette came peut recevoir deux mouvements, un de rotation autour de l'arbre et un deuxième autour d'un axe horizontal. Tant que l'aiguille frotte sur la came, elle force cette dernière à s'incliner et agit par un cliquet sur une roue dentée qui commande l'aiguille du cadran. C'est pendant ce mouvement que cette aiguille avance seule. A chaque tour de l'arbre de l'enregistreur, elle progresse sur le cadran d'une quantité correspondante à la durée de l'action de l'électro-dynamomètre sur la came, durée proportionnelle à l'énergie du courant.

Le compteur Frager peut être modifié pour servir d'ampèremètre et indiquer en même temps le nombre de lampes en service. L'énergie absorbée pour son fonctionnement est excessivement faible.

Il existe encore un certain nombre de compteurs, mais aucun d'eux pas plus que les précédents du reste, ne présente la simplicité du compteur à gaz. En général ce sont des appareils délicats, dont les indications ne sont par ce fait même que d'une exactitude approchée. Comme ampèremètre enregistreur, il est préférable d'employer les compteurs mécaniques, qui ne nécessitent pas de pesée ou autre manipula-

tion délicate comme les compteurs à liquide. Les ampèremètres conviennent dans la plupart des installations actuelles, où le voltage est maintenu à peu près constant.

Quant aux wattmètres ils sont évidemment plus rationnels, puisqu'ils tiennent compte de toutes les variations dans le courant.

Leur choix est subordonné à leur bon fonctionnement. Au point de vue général, ils doivent coûter bon marché et l'énergie absorbée pour leur marche doit être aussi faible que possible. Quant au consommateur, il doit exiger que les indications soient justes sur toute l'échelle de leurs indications.

Les compteurs sont placés chez l'abonné immédiatement à l'entrée du câble. On les enferme le plus souvent dans des enveloppes en bois ou en verre pour protéger contre les poussières le mécanisme très délicat.

L'emploi des compteurs ne devrait pas seulement être limité aux consommateurs ; il serait nécessaire d'en placer comme on fait pour le gaz près des sources d'énergie, quelle que soit leur nature.

## 2° APPAREILS DE COMMUNICATION.

Ils sont de deux sortes suivant qu'ils servent à supprimer le courant ou bien à changer simplement sa direction, de manière à l'envoyer dans un autre appareil. Dans le premier cas, on a les *interrupteurs* et dans le second, les *commutateurs*.

**Interrupteurs.** — Les interrupteurs jouent le rôle des robinets à gaz ; on comprend aisément qu'il faille en disposer en différents points d'un circuit suivant les besoins probables du service. C'est ainsi que chaque lampe aura son interrupteur et qu'à l'usine, chaque circuit sera également muni du sien.

Le nombre des interrupteurs est très considérable, leurs dimensions et leurs formes dépendent à la fois de la nature et de l'intensité du courant qui doit les traverser.

Le principe des interrupteurs consiste à couper le circuit et à réunir les deux extrémités par un conducteur mobile, que l'on peut déplacer à volonté.

Dans l'interrupteur à *levier*, la liaison entre les deux extrémités du conducteur est assurée au moyen d'un espèce de chevalet métallique dont les deux pieds reposent chacun sur un bout du câble. Il peut se déplacer autour d'un axe de rotation. Tout l'interrupteur est en métal, sauf la manette de manœuvre, qui doit être formée par une substance mauvaise conductrice.

L'interrupteur à *cheville* est aussi simple. Les deux extrémités des conducteurs sont arrondies en forme de secteur, de manière à présenter un vide circulaire dans lequel on enfonce une cheville métallique dont la poignée est formée par une substance isolante.

Pour terminer la série de ces appareils, il convient de citer les interrupteurs à *manette* et à *verrou* qui assurent le contact par un mouvement de frottement. Dans l'interrupteur à manette, une tige métallique fixée à l'un des conducteurs, est munie d'une manette isolante qui permet de la mouvoir de droite à gauche ou de gauche à droite; suivant la position qu'on lui donne, la lame de l'interrupteur repose sur un contact ou plot correspondant avec l'autre extrémité du conducteur ou sur un isolant. Cet appareil est surtout employé sur le circuit des lampes à incandescence.

En modifiant cette disposition, on peut obtenir un interrupteur bipolaire, c'est-à-dire pouvant par une seule manœuvre couper le courant dans deux circuits différents, ou en deux points d'un même courant.

Dans la position horizontale de la manette par exemple, chaque extrémité de la barre de l'interrupteur, formée par une série de lames métalliques superposées, repose sur deux contacts auxquels aboutissent les extrémités des circuits correspondants. En amenant la manette dans une position à 90°, on rompt le courant sur les deux contacts. La disposition de la lame composée de plaques superposées a pour effet de diminuer l'étincelle de rupture. On réduit encore les effets de cette dernière en rendant cette rupture très brusque. A cet effet, dans l'axe de la manette se trouve disposé un ressort. Lorsque le contact est assuré, le ressort est tendu et son action est équilibrée par le frottement des lames de l'interrupteur sur les plots. Si on vient à les séparer, le ressort en se détendant coupe brusquement le circuit.

On a imaginé également une série de dispositions permettant de déplacer par une seule manœuvre deux interrupteurs voisins. Il suffit de rendre solidaires les deux tiges de manœuvre correspondantes.

Lorsque le mouvement de rotation de la lame de l'interrupteur est

remplacé par une translation, on a l'interrupteur à *verrou* qui nécessite des vis de serrage pour le maintenir en place (fig. 172).

Avec les courants à haute tension, les appareils précédents seraient insuffisants, l'étincelle qui s'établirait entre les conducteurs pouvant atteindre des dimensions élevées. Il faut réduire la valeur du courant en intercalant au moment de la rupture une résistance importante. Dans le système de M. Marcel Deprez, l'interrupteur est formé par deux lames de plomb immergées dans de l'eau acidulée. Lorsqu'on veut rompre le courant, l'on sort progressivement l'une des lames de plomb du bain, la résistance augmente au fur et à mesure, et les conducteurs ne sont pas détériorés par l'étincelle de rupture devenue très faible (fig. 173).

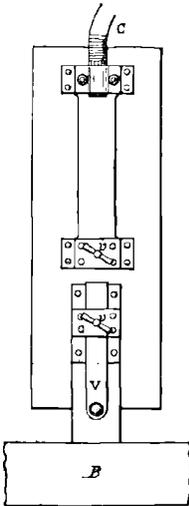


Fig. 172. — Interrupteur à verrou.  
Les deux conducteurs B C sont reliés par le verrou V, maintenu en place par les vis *v, v*.

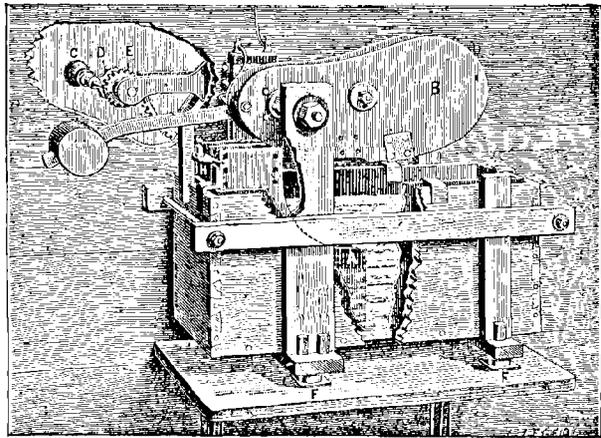


Fig. 173. — Interrupteur pour haute tension.  
A, lames de plomb fixes : — B, lames de plomb mobiles montées sur l'axe du secteur denté E mu par le pignon O et la manivelle E : — H, bornes de prise de courant ; — F, supports isolants.

Les interrupteurs doivent être montés sur des supports incombustibles et parfaitement isolants comme de la porcelaine, de l'ardoise, du marbre, etc., de manière à empêcher toute dérivation électrique, lorsque l'interrupteur est fermé, et à ne pas être brûlé, par les étincelles qui se forment au moment de la rupture des contacts.

Les surfaces métalliques des interrupteurs doivent avoir des dimensions suffisantes pour ne pas s'échauffer outre mesure sous l'action du

courant. De plus, les contacts doivent être assurés avec beaucoup de soin, ce qui nécessite l'obligation de les tenir toujours bien propres. A ce point de vue, les interrupteurs à frottement sont très avantageux, ils suppriment d'eux-mêmes les poussières.

La manœuvre de ces appareils doit se faire très rapidement pour empêcher l'action néfaste des étincelles de se prolonger trop longtemps.

**Commutateurs.** — Lorsque au lieu d'interrompre le courant on le fait passer dans d'autres appareils, l'interrupteur est remplacé par un *commutateur*. On peut imaginer une foule de combinaisons. En général, les commutateurs sont employés lorsqu'on a plusieurs machines alimentant un assez grand nombre d'appareils. On peut, grâce à la manœuvre du commutateur, alimenter les lampes avec l'une quelconque des machines.

Un commutateur des plus simples est le commutateur *universel* ou *bavarois*. Il est formé par deux séries de barres parallèles verticales et horizontales. Toutes ces barres sont séparées électriquement, mais au point de croisement elles sont percées chacune d'un trou dans le prolongement l'un de l'autre. Il suffit d'enfoncer une cheville dans ces trous pour assurer le contact de deux barres. On voit qu'en plaçant convenablement les chevilles, on peut obtenir toutes les combinaisons possibles. Ce commutateur très simple a le défaut d'être encombrant, aussi n'est-il plus guère employé.

On lui préfère le commutateur circulaire. Autour d'une circonférence sont disposés une série de contacts métalliques ou plots reposant sur une surface isolante. Chaque plot communique avec un circuit. Une lame métallique analogue à celle d'un interrupteur à manette se meut d'un mouvement de rotation autour du centre de la circonférence des contacts, pouvant ainsi se déplacer d'un plot à l'autre.

Ce commutateur présente un inconvénient. La plaque mobile peut par inattention être placée à cheval sur deux plots voisins, il peut en résulter alors une dérivation importante ou même une étincelle permanente qui détériore les contacts. On y remédie en munissant la lame mobile d'une cheville qui doit s'enfoncer dans les trous correspondant à chaque plot. C'est lorsque la cheville est au-dessus de ces trous qu'on peut seulement abandonner la manette et assurer le contact.

Le nombre des dispositions imaginées pour les commutateurs est assez

considérable. Elles varient naturellement suivant le but qu'on se propose, et chaque usine possède un commutateur un peu spécial.

On peut appliquer à ces appareils ce qui a été dit pour les interrupteurs avec lesquels, du reste, ils ont la plus grande analogie. C'est ainsi qu'on peut commander à la fois deux commutateurs en réunissant par une bielle les deux tiges de manœuvres: on obtient alors le commutateur bipolaire (fig. 174).

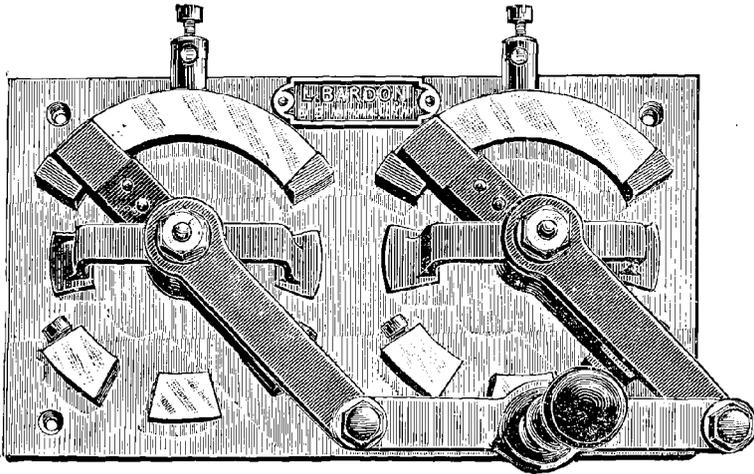


Fig. 174. — Commutateur bipolaire.

Il est bien évident qu'on devra toujours employer le même type d'interrupteur ou de commutateur, de manière à éviter toute complication dans les manœuvres, qui doivent être faites avec la plus grande rapidité.

### 3° APPAREILS DE RÉGLAGE ET DE SURETÉ.

Toute installation d'éclairage électrique comporte une série d'appareils nécessaires au bon fonctionnement des lampes et à leur conservation. On a vu en effet que toute augmentation de voltage est préjudiciable aux lampes à incandescence ; de même toute élévation exagérée de température peut amener la destruction de tous les appareils. On doit y remédier au moyen de dispositifs spéciaux.

Les appareils de réglage sont fournis plus particulièrement par les rhéostats.

**Rhéostats.** — Un rhéostat est constitué en principe par un conducteur d'une certaine longueur, dont une partie variable se trouve introduite dans le circuit du courant. C'est un fait d'expériences, que les lampes à arc, même alimentées par des accumulateurs, ne fonctionnent bien que si l'on a eu soin de munir leur circuit d'un rhéostat. Toutefois, l'importance de cette résistance supplémentaire diminue beaucoup avec le nombre des lampes à arc. Ils sont employés également avec les lampes à incandescence, mais alors ils ont pour but de maintenir constante la force électromotrice aux bornes de ces appareils en absorbant l'excédent de voltage qui peut exister. Le rhéostat joue en quelque sorte le rôle du régulateur de pression dans l'éclairage au gaz.

La forme et la nature des conducteurs employés dans la construction de ces appareils varient un peu avec chaque constructeur. Une disposition très simple consiste à enrouler, autour de deux traverses horizontales en bois, un fil métallique. Le courant arrive à l'une des extrémités de cette sorte de cadre, il sort par un contact mobile pouvant se déplacer le long des deux traverses horizontales de manière à pouvoir intercaler, suivant les besoins, une longueur plus ou moins grande de fil. Cette disposition fort simple a l'inconvénient d'exiger un emplacement considérable; de plus, avec des courants de forte intensité, la manœuvre en marche est très délicate à cause des étincelles.

Au lieu d'enrouler le fil autour des traverses, on peut disposer verticalement une série de conducteurs ayant la forme de ressorts à boudins. Chacun d'eux ou même plusieurs d'entre eux peuvent être intercalés au moyen d'un curseur mobile se déplaçant alors le long d'un secteur à plusieurs touches isolées où viennent aboutir les extrémités de chaque résistance.

On peut encore réduire le volume des rhéostats en employant la disposition imaginée par M. Cance. Le fil en maillechort est enroulé en spirale autour d'un cylindre vertical, dont il est séparé électriquement par du carton d'amiante (fig. 175). Un contact formé par une roue à molettes, mobile le long d'une génératrice de ce tambour, permet de faire varier la longueur de fil intercalé dans le circuit. Comme

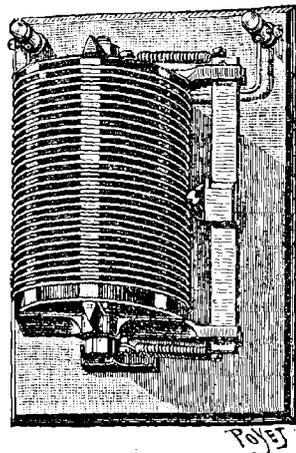


Fig. 175. — Rhéostat variable à curseur avec contact permanent du curseur pendant son déplacement.

il y a toujours un point en contact, on évite l'étincelle de rupture. La tige métallique supportant le contact mobile est munie de ressorts qui tendent à la rapprocher du tambour. Cette disposition rend les manœuvres très faciles.

On peut enfin employer des charbons agglomérés, montés sur des supports incombustibles. A la longue, le charbon se consume, mais le remplacement en est très facile; ils sont moins coûteux d'entretien que les précédents.

Les rhéostats se font en fils de fer, de maillechort ou en charbon, ils doivent être placés en des endroits aussi ventilés que possible de manière à être constamment refroidis par l'air ambiant. Ils doivent également être peu volumineux, le contact mobile doit être suffisant pour qu'on puisse le déplacer en marche sans courir le risque de brûler le fil par l'étincelle de rupture.

**Coupe-circuits.** — Les coupe-circuits ou plombs fusibles sont des appareils de sûreté; ils ont pour but de ne plus laisser passer le courant, lorsque son intensité devient trop considérable. Il pourrait résulter de ce fait, soit la détérioration des appareils, soit des incendies. Le principe des coupe-circuits est très simple, il consiste à remplacer en certains

endroits le conducteur en cuivre par un autre conducteur plus petit et surtout plus fusible, de manière que si l'intensité devient par trop forte, il puisse fondre aussitôt et interrompre le courant.

Le métal employé à la confection des coupe-circuits est du plomb ou mieux encore de l'étain, qu'il est facile d'obtenir en fils réguliers. Ce métal ne s'oxyde pas et fond sans devenir incandescent.

Le nombre des dispositions

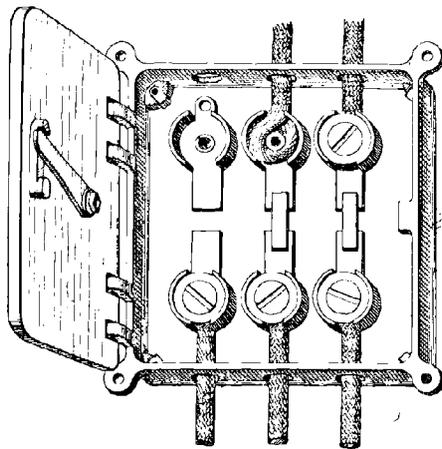


Fig. 176. — Coupe-circuit en plomb placé dans un coffret chez l'abonné.

employées est assez considérable.

Dans la distribution Edison les lames de plomb sont soudées aux conducteurs en cuivre. La soudure est préférable à l'emploi de vis qui aug-

mentent la résistance et produisent déjà un échauffement inutile. Les plombs fusibles sont disposés dans des caisses spéciales scellées dans la muraille à l'extérieur de l'habitation de l'abonné. Ces caisses sont identiques aux coffrets à gaz et jouent le même rôle, il suffit d'enlever le plomb fusible pour supprimer tout courant. (Fig. 176).

Sur le réseau à courants alternatifs par suite à haut voltage, de l'usine des Halles, on a disposé des coupe-circuits spéciaux imaginés par M. Ferranti.

Dans une boîte longue en poterie, il a ménagé une série de cellules cylindriques communiquant entre elles. C'est dans ces divers compartiments qu'on place des fils en platinoïde remplaçant les plombs fusibles. Ce métal volatilisé se dissipe aussitôt dans les cellules arrêtant toute communication. Le courant pénètre dans cette boîte au moyen de deux bornes scellées dans la poterie. Un couvercle à rainures glisse sur cette auge. Ces appareils sont assez encombrants, aussi leur emploi est-il très limité. (Fig. 177.)

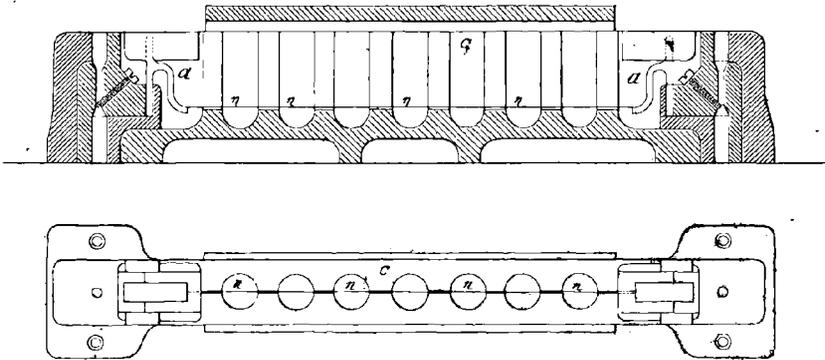


Fig. 177. Coupe-circuit pour haute tension.

*a, a*, prises de courant : — *n, n*, fils en platinoïde enfermés dans la caisse en grès *c*.

Avec les courants à haute tension, au moment de la fusion du coupe-circuit, il se produit une étincelle de rupture toujours dangereuse. Pour remédier à cet inconvénient, on a disposé le plomb fusible au-dessus d'un bain liquide dans lequel plongent deux lames de plomb; lorsque la tension devient par trop élevée, le fil fusible se liquéfie, mais le courant passe alors par le bain, intercalant dans le circuit une résistance suffisante pour supprimer tout danger.

En résumé, quel que soit le système, les coupe-circuits doivent être enfermés dans une enveloppe incombustible avec couvercle, de préfé-

rence en verre, de manière à éviter toute projection de métal fondu et à permettre de voir ce qui se passe à l'intérieur. On doit les placer dans des locaux où on ne court aucun risque d'incendie ou d'explosion. On intercale généralement un plomb fusible par circuit, indifféremment sur le câble d'aller ou de retour. La seule observation est qu'ils doivent toujours être disposés de la même façon lorsqu'il y a plusieurs circuits ; on évite ainsi toute méprise.

Lorsqu'un coupe-circuit vient à fondre, on diminue d'abord le débit de la machine, puis on ouvre l'interrupteur du circuit correspondant et on place un nouveau plomb fusible.

Ces appareils ne rendent pas les services sur lesquels on serait en droit de compter, le plus souvent les fils intercalés sont trop forts et les appareils à protéger sont brûlés bien avant que le coupe-circuit ait fonctionné.

**Indicateur de terre.** — Quels que soient les soins apportés à la pose de la canalisation et des appareils qu'elle alimente, il peut se produire des pertes à la terre qu'il est nécessaire de rendre apparentes pour y remédier aussitôt. On emploie alors un indicateur de terre.

Le plus simple consiste en deux lampes à incandescence montées en série, et dont le conducteur est relié en deux points de la canalisation.

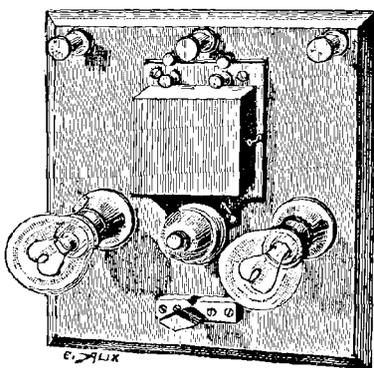
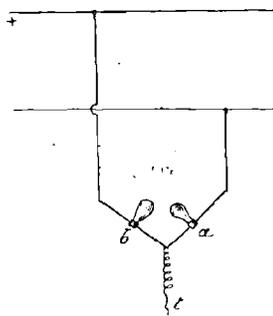


Fig. 178. — Indicateur de terre avec sonnerie.



Le milieu du fil des lampes est mis en communication avec le sol. Si la ligne est bien isolée, les deux lampes ont le même éclat, c'est-à-dire le rouge sombre. Dans le cas où il se produit une perte, l'une des lampes est plus brillante que l'autre (fig. 178). Très souvent, on intercale

sur le circuit des lampes, une sonnerie qui se met à tinter aussitôt que la perte se produit. On est ainsi averti de la présence d'un défaut d'isolement dans la canalisation et l'on connaît en même temps sur quel câble il se trouve. On a recours ensuite à des procédés spéciaux pour localiser l'endroit de ces pertes à la terre; on trouve en somme les mêmes difficultés que pour la recherche des fuites de gaz.

**Parafoudres.** — Lorsqu'il s'agit d'installations aériennes dans des pays accidentés, il faut intercaler des paratonnerres qui ont pour but de protéger les appareils desservis par la canalisation contre les effets de la foudre.

Le plus simple consiste à placer, vis-à-vis à un millimètre environ, deux pièces métalliques communiquant l'une avec la terre, l'autre, avec la canalisation. La décharge de l'électricité atmosphérique a une tension suffisante pour déterminer la formation d'un arc voltaïque entre ces deux pièces métalliques.

Avec les machines à haut potentiel ou à courants alternatifs, ce système est insuffisant et l'on est obligé de recourir à des dispositions spéciales ayant surtout pour but de protéger les machines.

#### 4° TABLEAUX DE DISTRIBUTION. — MISE EN MARCHÉ.

**Tableaux de distribution.** — Les différents appareils de mesure, de distribution et de sûreté sont groupés sur un plan vertical, qui constitue le tableau de distribution.

Il est placé dans l'usine même à proximité des machines de manière à faciliter les diverses manœuvres. D'un seul coup d'œil, le mécanicien doit pouvoir suivre la marche totale de l'installation. Derrière le tableau arrivent les divers conducteurs des machines et des lampes aboutissant aux commutateurs qui doivent être placés à hauteur d'homme pour en permettre la manœuvre rapide. Au-dessus des commutateurs, on dispose les appareils de mesure et en particulier les voltmètres et ampèremètres dont la lecture doit se faire sans difficulté. Enfin, tout à fait dans le haut, on installe les rhéostats des circuits des lampes, en un mot tous les appareils dont la manipulation est moins fréquente.

La disposition adoptée pour les tableaux est très variable et dépend des circonstances. Bien souvent, au lieu de mettre tous les appareils sur

un seul tableau, on préfère en employer plusieurs distincts se rapportant à des groupes déterminés.

Les tableaux se font le plus souvent en bois noir, en chêne ciré ou verni. On emploie alors trois épaisseurs de bois superposées en ayant soin d'alterner d'une épaisseur à l'autre le sens des fibres du bois. Avec cette disposition, les planches n'ont pas de tendance à se voiler. Au lieu de bois, on peut se servir avantageusement de marbre et d'ardoise qui sont à la fois très isolants et incombustibles.

Il est préférable de placer le tableau à une certaine distance du mur de manière à laisser toutes les connexions bien apparentes et faciles à réparer. On doit alors le disposer bien verticalement pour ne pas fausser les indications des appareils de mesure.

**Allumage et extinction.** — L'allumage des lampes électriques présente un caractère de simplicité qu'on ne rencontre dans aucun autre mode d'éclairage. Il suffit en effet de tourner un interrupteur, que l'on place à la distance que l'on veut de la lampe, pour obtenir de la lumière. Ce n'est donc pas à ce point de vue qu'il convient d'examiner la question, mais bien à celui des appareils de production dont le débit doit varier d'après la consommation.

Lorsqu'il s'agit d'éclairages spéciaux comme celui de la voie publique ou d'espaces affectés à un travail d'une durée déterminée, l'allumage se fait de l'usine même où sont disposés tous les interrupteurs. Une consigne fixe, pour chaque jour, les heures d'allumage et d'extinction. La manœuvre de toute l'usine devient alors fort simple; une fois les machines mises en marche et réglées on n'a plus à y toucher pendant tout le fonctionnement de l'éclairage; c'est évidemment le système le plus facile et le plus rationnel, mais il n'est pas toujours possible de l'appliquer.

Au contraire, quand il faut alimenter des éclairages privés, où chaque particulier doit pouvoir allumer, suivant ses besoins, le nombre de lampes qu'il lui convient, le service n'est plus aussi commode.

La consommation varie en effet dans des proportions très considérables; à certains moments elle peut descendre à  $\frac{1}{15}$  de la consommation maximum. On est amené à avoir plusieurs machines que l'on met en marche suivant les besoins.

Toutefois, quelle que soit la plus ou moins grande régularité du

débit, la manœuvre des commutateurs est soumise à quelques précautions indispensables.

Lorsqu'on a des lampes montées en série, le plus souvent la machine elle-même est excitée en série. Dans ce cas, on ne doit fermer le circuit que lorsqu'elle a atteint sa vitesse normale. L'extinction se fait de la même façon, c'est-à-dire après l'arrêt de la dynamo. On comprend aisément que, si l'on ouvrait le circuit en marche, l'étincelle qui se produirait pourrait détruire l'interrupteur. Cette manœuvre n'est possible qu'à la condition d'intercaler dans le circuit des résistances considérables. On a vu du reste que l'interrupteur pour haute tension était disposé dans ce but.

Dans le cas de lampes à arc montées en dérivation, la dynamo est compound ou excitée en dérivation. Les circuits sont fermés successivement après avoir mis la machine en mouvement. Cette manœuvre est importante car si l'on fermait les circuits avant, dans le cas de machine en dérivation, toute excitation serait impossible. On doit en outre attendre un moment pour passer d'un circuit à l'autre, en effet au début l'intensité des lampes atteint une valeur plus considérable que pendant leur fonctionnement; l'arc n'étant pas formé, la résistance est évidemment plus faible. Le débit doit augmenter au fur et à mesure de l'accroissement du nombre des circuits en service. Quelques machines autorégulatrices suivent les variations de la consommation; dans d'autres au contraire, il faut agir à la main sur l'excitation pour obtenir le réglage. Mais quel que soit le moyen employé, il a pour but de maintenir constant le voltage aux bornes de la machine. L'extinction suit la marche inverse, on diminue l'excitation au fur et à mesure de l'abaissement du nombre des circuits en service. Dans le cas où l'on peut avoir à éteindre toutes les lampes en même temps, on arrête la machine avant de couper le circuit.

Toujours dans le cas de lampes en dérivation, lorsqu'on a plusieurs dynamos excitées en dérivation pour alimenter le réseau, c'est-à-dire groupées en quantité, on ne les intercale que lorsqu'elles ont le voltage définitif; à partir de ce moment, leur excitation est modifiée de manière à leur faire fournir la quantité voulue du courant total. Pour l'extinction on procède de la même façon, c'est-à-dire on diminue leur débit jusqu'à zéro, on ouvre alors le commutateur et on les arrête.

Tout ce qui vient d'être dit se rapporte aux courants continus; avec les courants alternatifs, les observations sont sensiblement les mêmes. L'allumage des lampes en série se fait lorsque la machine est en marche, l'ex-

inction n'a lieu qu'après son arrêt ou à la condition d'intercaler de fortes résistances. Dans le cas de distribution en dérivation, on procède comme avec les courants continus. Le groupement en quantité des machines à courants alternatifs ne présente aucune difficulté.

Quelles que soient les conditions de mise en marche, la manœuvre particulière de chaque commutateur doit se faire rapidement de manière à éviter la production de toute étincelle. En résumé, l'allumage des appareils électriques n'est pas plus compliqué que celui des autres sources lumineuses, d'autant plus que les considérations précédentes s'adressent au producteur et non au consommateur, qui lui n'a qu'à tourner un commutateur pour avoir de la lumière.

## CINQUIEME PARTIE

---

# COMPARAISON

---

### I. — Propriétés de la lumière.

**Production de la lumière.** — La lumière est l'agent physique extérieur qui produit en nous, par l'intermédiaire de la rétine, la sensation visuelle. Pour en expliquer l'origine, on admet que tout corps porté à une certaine température a ses molécules en mouvement. Ce mouvement vibratoire, qui peut se produire indifféremment dans l'air ou dans le vide, se transmet à un milieu spécial très élastique et sans poids qu'on nomme éther. Cette sorte de fluide, dont l'existence n'est qu'hypothétique, présente bien les deux caractères précédents d'élasticité et de densité. Il faut, en effet, qu'il soit très élastique puisque la vibration lumineuse le parcourt avec une vitesse de 300.300 kilomètres à la seconde. Il est nécessaire également qu'il soit sans poids, car il fait partie intégrante des corps les plus légers et se trouve dans le vide le plus parfait.

Les vibrations, qu'on peut comparer par analogie au mouvement oscillatoire d'une corde tendue, varient avec la nature du corps lumineux. Leur longueur d'onde, c'est-à-dire la dimension de la projection de la vibration dans le sens du mouvement vibratoire est extrêmement faible, elle est comprise entre 400 et 700 millièmes de millimètre. Par contre, la fréquence, c'est-à-dire le nombre de fois que la vibration se reproduit dans l'unité de temps, dépasse le chiffre énorme de 394 trillions par seconde qui est celui des premières radiations visibles. Les ondulations donnant naissance aux phénomènes lumineux ne diffèrent que par leurs dimensions des ondulations qui engendrent la chaleur. Il en résulte que la lumière fait suite à cette dernière; elle-même ne repré-

sente pas une seule vibration, mais une série de vibrations agissant différemment sur la rétine en produisant la sensation de couleur.

Lorsqu'on chauffe un corps, par suite de son mouvement vibratoire, sa température s'élève successivement, mais les vibrations sont beaucoup trop lentes pour influencer la rétine. Ce n'est qu'à partir d'un certain mouvement vibratoire correspondant à une température de  $775^{\circ}$  que le phénomène lumineux commence à être appréciable. Elle croit ensuite rapidement jusqu'à  $1.773^{\circ}$  (fusion du platine) où apparaît le blanc éblouissant. La fréquence des vibrations est alors très considérable. L'impression perçue par la rétine est la résultante de plusieurs mouvements vibratoires. Il faut se placer dans des conditions tout à fait spéciales pour les séparer, et obtenir la sensation d'une lumière simple correspondant à une longueur de fréquence et par suite de couleur déterminée.

Quoiqu'il en soit, grâce à cette théorie, basée sur une hypothèse dont la valeur n'est pas discutable, puisqu'elle est le résultat d'un ensemble de faits explicables seulement par les vibrations, la lumière comme les autres agents physiques, n'est qu'une forme de l'énergie. On peut, dès lors, partir de ce point de départ pour justifier la transformation de la chaleur et de l'électricité en lumière et réciproquement.

Les diverses sources lumineuses employées à l'éclairage diffèrent entre elles par la manière de réaliser cette transformation. La lumière naît le plus souvent par combustion en transformant l'énergie disponible résultant des affinités chimiques. Lorsqu'elle est produite par incandescence, elle absorbe de la chaleur, de l'énergie électrique ou mécanique. Comme on le voit, la production de la lumière n'est pas aussi simple qu'elle paraît d'abord, car presque toujours il faut passer par une transformation, c'est à-dire produire d'abord de l'énergie chimique, mécanique ou électrique. Il suffit pour s'en rendre compte d'examiner l'un quelconque de ces modes de transformation.

Dans l'éclairage par la bougie, qui est l'appareil le plus simple pour obtenir de la lumière, on trouve la marche suivie par une substance complexe avant de devenir lumineuse.

La matière solide dont elle est formée est d'abord liquéfiée par la chaleur rayonnante; une fois liquide, elle s'élève par capillarité à travers la mèche jusqu'à la flamme où elle se volatilise ensuite sous l'action de la chaleur intense de cette dernière. Les hydrocarbures qu'elle renferme sont décomposés pour donner naissance à des gaz inflamma-

bles, dont la combustion fournit la chaleur indispensable, et à du carbone qui, élevé à cette température, deviendra incandescent et émettra une série de vibrations qui donneront à la flamme sa couleur jaune caractéristique.

Si on regarde une flamme, on remarque qu'elle n'a pas partout le même aspect, et c'est du reste en examinant attentivement ses diverses parties qu'on peut suivre les différentes phases de la transformation physique précédente.

La base et le centre sont d'un noir bleuâtre sans pouvoir éclairant, la combustion y est à peu près nulle par suite de l'insuffisance d'air et du peu d'élévation de la température. Le manque d'air peut être démontré en plongeant dans la flamme un tube incliné de manière à dévier une partie du gaz qu'on peut enflammer à l'autre extrémité. L'absence de chaleur est caractérisée par la difficulté qu'on a, par exemple, d'y enflammer une allumette.

Au-dessus, entourant en partie le noyau obscur, se trouve une portion brillante dans laquelle sont accumulés les gaz combustibles et le carbone provenant de la décomposition des hydrocarbures. La combustion commence à s'effectuer d'abord à la périphérie, puis au centre. Pour déceler la présence du carbone, il suffit d'y plonger un corps froid, si on le retire assez tôt pour l'empêcher de s'échauffer, on le trouve couvert de noir de fumée. C'est la partie lumineuse par excellence.

Au fur et à mesure que l'air arrive en plus grande quantité, le carbone lui-même brûle, aussi le cône brillant va sans cesse en se rétrécissant et se termine par une pointe ou dard qui constitue la troisième portion. La température y est très élevée. La chaleur dégagée par la combustion du carbone est très intense, mais l'absence de particules solides empêche toute production de lumière.

En général, on retrouve ces diverses transformations dans toutes les substances employées à l'éclairage direct par combustion.

Dans les lampes à huile, la matière arrive à l'état liquide envoyée par un mécanisme spécial, jusqu'à la mèche, où elle s'élève par capillarité. La zone obscure est moins considérable que dans celle de la bougie, l'air y étant admis presque aussitôt, mais on retrouve cependant les mêmes phases que précédemment, c'est-à-dire une partie obscure, une zone éclairante et enfin une couronne très chaude.

La marche de la combustion est également la même avec le gaz de houille que l'on enflamme à l'extrémité d'un brûleur quelconque.

Ces trois modes d'éclairage ne diffèrent, au point de vue de la combustion, que par la manière d'amener la matière éclairante à la flamme.

Dans l'éclairage électrique par l'arc voltaïque, les charbons sont chauffés assez fortement pour être portés à l'incandescence, mais à leur lumière propre s'ajoute celle de l'arc qui jaillit entre les deux pointes des crayons, et c'est la résultante de ces deux lumières qui fournit une source lumineuse intense.

Au contraire, avec la lampe à incandescence, le carbone est porté directement par le courant à une température assez élevée pour émettre des radiations lumineuses. Cette source de lumière ne diffère de celle du gaz, par exemple, que par la manière de fournir la chaleur nécessaire à l'incandescence du carbone. L'éclairage à incandescence par le gaz est du reste établi de la même façon. Dans ce cas, toutes les substances combustibles qu'il renferme sont brûlées assez rapidement pour supprimer toute présence de particule solide dans la flamme; la chaleur est alors suffisante pour porter un corps infusible à une température assez élevée pour qu'il devienne lumineux. La couleur de la flamme varie alors avec la nature du corps incandescent.

**Combustion.** — Lorsque la lumière est obtenue par la combustion d'hydrocarbures, il faut que cette combustion satisfasse à trois conditions importantes.

La première est qu'il y ait *proportionnalité* entre l'air et les gaz. S'il y a manque d'air, la flamme est rouge et fuligineuse. C'est du reste tout le mérite de l'invention d'Argand d'avoir imaginé un appareil fournissant de l'air en quantité suffisante. Pour une raison identique, le pétrole est resté longtemps sans application, faute de savoir lui fournir l'air nécessaire à sa combustion. Il ne faut pas cependant qu'il y ait de l'air en excès, car une grande partie s'échappe alors sans avoir été utilisée, ce qui explique dans les brûleurs à gaz la supériorité des appareils à dosage déterminé sur les autres. En général, on peut régler cette proportionnalité en agissant, soit sur l'arrivée du comburant, soit sur la quantité de gaz admis à la combustion.

La deuxième condition est d'obtenir un *mélange* parfait du combustible et du comburant. Il arrive souvent qu'en analysant les produits de la combustion, on trouve des gaz non brûlés et par suite inutilisés. Il se forme, en effet, des courants gazeux qui s'échappent avant d'avoir

rencontré une quantité d'air suffisante. Pour produire ce mélange, une faible vitesse dans l'écoulement des fluides est nécessaire ; une pression exagérée empêche non seulement la combustion, mais encore produit un abaissement de température qui peut amener l'extinction complète. L'arrivée des courants gazeux dans des directions perpendiculaires favorise le mélange.

La troisième condition est relative à la *température*. Les corps ne s'enflamment que lorsqu'ils ont atteint un certain degré de chaleur. Dans les brûleurs ordinaires, cette chaleur est empruntée directement à la flamme, et à ce point de vue, les appareils à récupération constituent un progrès énorme, car les gaz arrivent à la température nécessaire à leur inflammation immédiate. M. Saint-Claire Deville a démontré que le rendement lumineux d'un brûleur était doublé, si on amenait de l'air chauffé préalablement. Ce réchauffage doit se faire à une température aussi élevée que possible, car le pouvoir éclairant d'un corps croit plus vite que l'élévation de la température du milieu dans lequel il est plongé.

Les conditions d'une bonne combustion sont rarement réunies dans un même appareil ; pour des raisons primordiales, on sacrifie souvent le rendement. C'est ainsi que pour l'éclairage public, on débite le gaz à forte pression pour lui permettre de résister plus facilement à l'action du vent.

**Physiologie de la vision.** — C'est par l'œil, organe de la vision, que l'on juge des propriétés lumineuses des corps environnants ; et par suite, de leur couleur, de leur forme et de leur position. L'œil est un appareil dioptrique, composé d'enveloppes et de milieux transparents traversés par les rayons lumineux, et grâce auxquels ces derniers sont amenés et condensés sur une membrane sensible placée dans le fond de cet organe. Le milieu transparent assez complexe comporte plusieurs parties dont la plus importante est le *crystallin*. Devant lui se trouve un écran annulaire opaque, l'*iris*, percé en son centre d'une ouverture, la *pupille*. L'iris peut se contracter de manière à faire varier le diamètre de la pupille depuis 1 millimètre jusqu'à 9 millimètres, de façon à limiter la quantité de lumière qui pénètre dans le cristallin. Enfin, la membrane sensible qui constitue la partie importante de l'organe de la vision est la *rétiline*.

Les rayons lumineux admis par la pupille arrivent sur le cristallin qui

les réfracte et les dirige sur la rétine. Mais, au lieu d'être arrêtés par elle, ils la traversent et viennent tomber sur une membrane pigmentée noire, la *choroïde*, qui joue un rôle très important dans la vision. Elle absorbe, en effet, les rayons inutiles et sert de miroir réflecteur aux autres qui, en revenant sur la rétine, produisent la sensation lumineuse. La rétine n'est donc pas un écran, puisqu'elle n'est influencée par les rayons lumineux que lorsqu'ils ont été réfléchis par le miroir choroïdien ; la partie postérieure de cette membrane est, en outre, seule sensible. C'est en allant de l'arrière à l'avant de cette dernière que se produit la transformation du phénomène physique de la vision en phénomène physiologique.

Quant à la marche suivie, elle a lieu d'une façon tout à fait hypothétique. Il existe plusieurs théories à ce sujet ; la plus répandue est basée sur la constitution de la rétine.

Cette membrane a une certaine épaisseur et les histologistes y distinguent plusieurs couches dont une seule, la postérieure, est influencée. Cette couche est composée de petites fibres nerveuses se recourbant de dedans en dehors et se terminant par deux éléments particuliers, les uns petits et minces qu'on nomme *bâtonnets*, les autres plus volumineux et plus longs ou *cônes*. C'est aux points de contact de ces fibres et de la choroïde que se produit la sensation lumineuse qui serait due à une action chimique.

En effet à l'état de repos physiologique, les segments extérieurs des bâtonnets se chargent chez l'animal vivant d'une matière rouge, à laquelle on a donné le nom de *pourpre rétinien* ou *érythroopsine*, et qui disparaît lorsqu'elle est en pleine lumière. On démontre expérimentalement la destruction de cette substance par les rayons lumineux. Un animal, laissé longtemps dans l'obscurité, est soumis à l'action de la lumière vive devant une fenêtre ; le pourpre rétinien est détruit dans la partie correspondante aux verres de cette fenêtre. Si on le tue immédiatement, il suffit de fixer les parties du pourpre non décomposé pour obtenir la photographie de la fenêtre. On donne à ces images le nom d'optographes. D'après cette expérience, on est en droit de supposer que la rétine est influencée par la décomposition de cette substance.

Dans la vision normale, il y a deux parties à considérer : l'intensité de la lumière et sa couleur. Ces deux actions sont bien différentes, et ce qui fait qu'on ne s'en aperçoit pas au premier abord, c'est qu'on les trouve toujours fusionnées. Les sièges de la sensation de la quantité

et de la qualité de la lumière sont bien distincts. La sensation de couleur est différente, suivant les conditions expérimentales et le point de la rétine considéré; elle va en diminuant du centre à la périphérie, mais réciproquement la sensibilité à l'intensité lumineuse peut varier dans des circonstances où la sensibilité aux couleurs reste la même. C'est ainsi que le repos de l'œil dans l'obscurité produit une augmentation de cette sensation due à un excès du rouge photochimique, tandis que la sensibilité chromatique n'a pas changé. Toutefois à l'inverse de la sensation chromatique, l'on peut dire que les différents points de la rétine, sauf le centre, sont également sensibles à l'intensité.

D'après les recherches de Schultz, les bâtonnets de la membrane rétinienne percevraient les différences d'intensité lumineuse; les cônes, au contraire, seraient influencés par les couleurs. De sorte que, suivant que l'un ou l'autre de ces éléments domine, la vision est dans le même rapport. L'histologie comparée vient à l'appui de cette théorie. En effet, chez les nocturnes (chauves-souris, taupes, hérissons), les cônes manquent totalement, aussi ne distinguent-ils que les différences d'intensité lumineuse. Au contraire, chez les oiseaux diurnes, surtout ceux qui se nourrissent de petits insectes, aux couleurs brillantes, les cônes sont très développés au détriment des bâtonnets beaucoup moins importants.

L'homme occupe une situation intermédiaire, c'est-à-dire qu'il est influencé simultanément par l'intensité et la couleur de la lumière; on verra par la suite la nécessité de se placer dans des conditions bien déterminées pour obtenir ces sensations séparées.

**Unités de lumière.** — L'œil ne saurait apprécier la puissance d'une flamme; il est également incapable d'évaluer exactement la différence d'intensité qui existe entre deux sources lumineuses. Tout au plus s'il peut se rendre compte d'une manière assez approchée de l'égalité de deux lumières. Il en résulte que l'on a été obligé de recourir à ce seul moyen de mesure et de comparer les diverses lumières à l'une d'elles prise comme unité. L'étalon admis doit toujours être produit dans des conditions absolument identiques. Il y a autant d'unités que de pays, et comme on omet souvent d'en indiquer la nature et la valeur, il en résulte une certaine confusion dans l'estimation des diverses sources lumineuses.

En France, l'unité de lumière adoptée est celle émise par la flamme

d'une lampe *Carcel* consommant 42 grammes d'huile épurée à l'heure dans des conditions absolument déterminées.

En Angleterre, on emploie comme unité la *sperm candle*, c'est-à-dire la lumière fournie par la bougie de Spermaceti de six à la livre anglaise (453 grammes), brûlant 7<sup>sr</sup>,776 à l'heure; la longueur de la flamme est alors de 45 millimètres de haut. Cet étalon sert souvent à mesurer l'intensité des lampes à incandescence. On admet, en général, que la *carcel* vaut 9,66 bougies anglaises, mais d'après les essais récents de M. Violle, elle ne vaudrait que 8,91.

En Allemagne, l'unité adoptée est une *bougie* de paraffine de 6 à la livre (500 grammes) et d'un diamètre de 20 millimètres. La paraffine employée fond à 55°; l'unité correspond à une hauteur de flamme de 50 millimètres pour une consommation horaire de 6<sup>sr</sup>,7. La *carcel* vaut 9,8 bougies allemandes ou d'après M. Violle 7,89. Ces différents chiffres indiquent l'incertitude de ces mesures.

L'emploi des lampes et des bougies présente plusieurs causes d'erreur provenant surtout du peu d'homogénéité des matières employées, aussi y a-t-il un assez grand nombre d'autres étalons basés sur l'emploi des gaz et des vapeurs.

Au Congrès international de 1883, M. Violle proposa de prendre comme unité la quantité de lumière émise par 1 centimètre carré de surface de platine fondu pendant sa solidification. Cette unité n'est pas très commode dans les mesures industrielles, mais elle peut servir à étalonner les autres unités courantes, comme l'indique le tableau suivant dressé par M. Violle :

	UNITÉS Violle	CARCELS	BOUGIES de l'Étoile	BOUGIES Allemandes	BOUGIES Anglaises	LAMPES Hefnervon Altneck
Unités Violle. . . . .	1	2,08	16,1	16,4	18,5	18,9
Carrels. . . . .	0,481	1	7,75	7,89	8,91	9,08
Bougies de l'Étoile . . . . .	0,062	0,130	1,	1,02	1,15	1,17
Bougies allemandes . . . . .	0,061	0,127	0,984	1,	1,13	1,15
Bougies anglaises . . . . .	0,054	0,112	0,870	0,886	1,	1,02
Lampes { Hefnervon . . . . .	0,053	0,114	0,853	0,869	0,98	1,
{ Altneck . . . . .						

La carcel vaut donc 0,484 Violle, c'est-à-dire à peu près la moitié de cette valeur.

On emploie couramment un sous-multiple du Violle, c'est la *bougie décimale* équivalant à un vingtième du Violle, soit un dixième de la carcel.

**Intensité sphérique moyenne.** — Les appareils qui servent à comparer une source lumineuse quelconque à l'étalon admis comme unité sont désignés sous le nom de photomètres. Les mesures photométriques sont basées sur deux lois fondamentales.

1° La lumière se propage en ligne droite ;

2° L'intensité lumineuse est inversement proportionnelle au carré de la distance.

Ces mesures sont très délicates ; l'œil étant généralement l'arbitre qui décide de l'égalité de deux teintes, on comprend aisément qu'elles varient avec chaque expérimentateur. De plus, comme les sources lumineuses n'ont pas la même couleur, les conditions d'identité sont très difficiles à évaluer.

Au début on se contentait de mesurer l'intensité suivant la direction horizontale, mais depuis l'apparition des brûleurs à flamme en-dessous dont l'intensité horizontale est très faible, on a dû recourir à des mesures plus précises.

Un foyer lumineux envoie des rayons dans tous les sens ; mais tous ne sont pas utilisés, un certain nombre sont absorbés par les supports du foyer ou par d'autres parties opaques de l'appareil. On a donc été amené à déterminer la quantité de lumière émise par la source lumineuse dans toutes les directions. Dans ces conditions, on considère une sphère décrite autour du foyer comme centre et l'on mesure la quantité de lumière reçue par unité de surface de la sphère ; on fait la somme, qui, rapportée à l'unité de surface, donne une quantité désignée sous le nom d'*intensité sphérique moyenne*.

Des expériences répétées ont permis de ramener la recherche de la valeur de cette intensité à une ou deux mesures photométriques seulement.

Pour l'arc voltaïque à courants continus l'intensité, sphérique moyenne est égale à la moitié de l'intensité horizontale augmentée du quart de l'intensité à 45°. Pour l'arc voltaïque à courants alternatifs, elle est égale à 0,90 de l'intensité horizontale.

Les bougies et la lampe Soleil ont une intensité sphérique moyenne égale aux trois quarts de l'intensité de face mesurée à 45° au-dessus ou au-dessous du plan horizontal suivant le cas.

Dans la lampe à incandescence, elle est considérée comme égale aux trois quarts de l'intensité horizontale prise dans un plan à 45° avec celui du filament.

Celle des becs ronds correspond à 0,95 de l'intensité horizontale.

L'intensité sphérique moyenne n'est pas tout à fait équitable ; il y a en effet un grand nombre de brûleurs pour lesquels la quantité de lumière envoyée dans une hémisphère a seule de l'intérêt, mais il est toujours facile de faire les réductions convenables suivant la source lumineuse. En dehors des appareils de projection, il vaut toujours mieux évaluer l'intensité lumineuse de cette façon.

**Éclat.** — La quantité totale de lumière émise par deux sources lumineuses peut être la même, bien qu'elles soient tout à fait différentes ; la lumière de la lampe Wells et celle de l'arc voltaïque par exemple sont équivalentes quoique provenant de foyers dissemblables ; c'est que leur éclat n'est pas le même.

On appelle *éclat* l'intensité lumineuse rapportée à l'unité de surface éclairante ou d'émission.

L'éclat dépend surtout de la température du corps lumineux ; il est d'autant plus grand que cette dernière est élevée.

Le tableau suivant donne la valeur de l'éclat de différentes sources lumineuses :

Bec bougie. . . . .	0,06 bougies
» Argand . . . . .	0,30 »
» Siemens . . . . .	0,60 »
Lampe à incandescence électrique. . . . .	30 »
Lampe à arc . . . . .	480 »
Lumière solaire . . . . .	24.000 »

L'éclat d'une source lumineuse a une importance capitale. En effet, la sensation lumineuse étant due à la destruction du pourpre rétinien, si cette destruction est trop rapide, il y a éblouissement et par suite confusion dans la netteté de la vision. Il suffit d'être exposé quelque temps à la lumière solaire ou à celle de l'arc voltaïque pour rester comme aveuglé pendant le temps nécessaire à la reconstitution du pourpre rétinien.

L'effet est le même, si la source lumineuse se trouve dans le champ visuel, outre la perception directe des objets fixés par l'œil, la rétine reçoit celle des corps voisins et si l'image est plus brillante que celle de l'objet considéré; il y aura confusion. La vision sera d'autant moins nette que leur éclat sera plus considérable.

Il en résulte que, dans tout éclairage, les foyers d'un trop vif éclat ne devront pas être placés dans le champ visuel. Dans ce cas, il est même préférable d'atténuer, en quelque sorte, l'intensité de ces lumières au moyen de globes diaphanes. Ils en absorbent une certaine quantité, qui peut atteindre 30 à 40 0/0, mais la netteté de la vision en est augmentée d'autant. On s'explique également de cette façon pourquoi en substituant aux flammes à grande surface comme celle de l'huile, du gaz, des bougies, des foyers de même nuance, mais d'un éclat supérieur, comme les lampes à incandescence, on est obligé, pour arriver au même résultat, d'augmenter de 30 0/0 la puissance lumineuse totale de ces foyers. Cette augmentation est faite pour permettre la distinction des objets comme avec les appareils précédents.

**Couleur.** — La question de la couleur des flammes dans l'éclairage a pris de l'importance depuis l'apparition de l'arc voltaïque et des becs à incandescence par le gaz.

La couleur d'une source lumineuse dépend surtout de la nature du corps qui lui donne naissance. C'est ainsi qu'en projetant dans la flamme incolore d'un brûleur Bunsen des sels de thallium, de lithium ou d'indium, on obtient une belle couleur verte, rouge ou bleue suivant le cas. On peut du reste employer ce procédé pour déceler la présence de ces corps dans un mélange. De même avec l'arc voltaïque, on peut en changeant les électrodes obtenir des couleurs variées et simples comme précédemment.

Mais, le plus souvent la teinte de la source lumineuse est assez complexe, elle résulte d'un mélange de couleurs dont l'œil ne perçoit que la résultante. Il faut recourir à des moyens spéciaux pour séparer les couleurs, on obtient alors un spectre lumineux. La lumière solaire décomposée par un prisme de verre donne un spectre à sept couleurs correspondant chacune à un nombre de vibrations déterminées. Les diverses lumières artificielles donnent également un spectre dont les couleurs sont groupées dans le même ordre que le précédent, mais dont l'inten-

sité relative est très modifiée. La nuance d'une flamme est généralement celle de la couleur dominante du spectre.

Le tableau suivant indique la composition du spectre des principales sources lumineuses, en prenant celui du soleil comme unité.

COULEURS DU SPECTRE	SOLEIL	A R C voltaïque	G A Z	INCANDESCENCE électrique
Rouge . . . . .	1	2,09	4,07	1,48
Jaune . . . . .	1	1	1	1
Vert . . . . .	1	0,99	0,47	0,62
Bleu . . . . .	1	0,87	1,23	0,18
Violet . . . . .	1	1,03	0,15	0,17
Violet extrême. . . . .	1	1,21	»	»

Dans une couleur, il y a deux quantités : le ton ou nuance et sa saturation. Le ton correspond à la position que l'on peut donner à la couleur dans le spectre ; quant à la saturation, on peut la définir comme étant le degré de pureté de cette couleur ; plus une couleur est mélangée de blanc, moins elle est saturée.

On dit que deux couleurs sont complémentaires lorsque mélangées elles donnent naissance à du blanc. C'est ainsi que le bleu et l'orangé, le violet et le jaune, le vert et le pourpre réunis deux à deux produisent la sensation de blanc. Si l'une de ces couleurs domine, la nuance résultante se rapproche de cette couleur.

La teinte d'une lumière peut provenir de la source elle-même ou des milieux qu'elle traverse, mais, quel que soit le cas, la sensation sur l'œil est celle de la couleur seulement ; elle ne dépend que de la pureté de cette dernière.

Toute lumière colorée produit sur la rétine trois sensations distinctes et successives suivant son intensité. L'œil aperçoit d'abord une lumière, puis il en distingue la couleur, et enfin il peut juger de la forme et des dimensions des objets qu'elle éclaire.

Ces trois degrés de la vision obtenus en augmentant à chaque fois l'intensité du foyer lumineux se retrouvent avec toutes les couleurs, mais pour chacune d'elles l'intensité n'est pas la même. Ces faits ont été observés par le docteur Augustin Charpentier qui a déterminé les relations qui existent entre les divers états.

Dans ses expériences, l'œil plongé un moment dans l'obscurité, reçoit les rayons d'une lumière colorée dont l'intensité part de zéro pour augmenter progressivement. Il éprouve au début la sensation incolore, quelle que soit la nuance de la source lumineuse. Il faut atteindre une certaine intensité pour obtenir la sensation chromatique et la valeur de cette intensité dépend absolument de la nature de la teinte.

Au moment où il distingue la couleur, l'œil n'est pas arrivé au degré de vision distincte ou de la perception nette des objets. Il faut encore accroître l'intensité de la source lumineuse pour arriver à ce résultat.

M. Augustin Charpentier a déterminé le rapport qui existe pour certaines radiations :

1° Entre la quantité de lumière correspondante à la sensation chromatique et celle nécessaire à la sensation incolore, prise comme unité.

Ce rapport est de :

4	pour le rouge
5,5	— orangé,
9,6	— jaune,
196	— vert moyen,
625	— bleu franc.

2° Entre la quantité de lumière fournie pour la vision nette et celle nécessaire à la sensation chromatique. Ce rapport est généralement constant et sensiblement égal à 1,85.

3° En multipliant les chiffres du tableau précédent par 1,85, on aura la quantité de lumière nécessaire pour obtenir la vision distincte, la quantité de lumière fournie pour produire la sensation incolore étant prise comme unité.

On a alors les chiffres suivants :

	7,40	pour le rouge,
	10,17	— orangé,
	17,76	— jaune,
ε	362,60	— vert moyen,
	1.156,25	— bleu franc.

Il résulte de ces expériences que la sensation lumineuse n'est pas la même pour chaque teinte et que deux couleurs ne paraissent également intenses que quand leur intensité réelle est bien différente. Cette dernière sera d'autant plus élevée que la couleur sera plus réfrangible,

c'est ainsi qu'il faut environ vingt fois plus de lumière verte et soixante fois plus de lumière bleue que de lumière jaune pour obtenir la même netteté dans la vision. Cette différence va encore en augmentant avec l'intensité de l'éclairement.

Il en résulte que dans l'appréciation des couleurs par l'œil, il faut tenir compte à la fois de la couleur et de l'intensité de la lumière. A cette observation il faut joindre celle qui concerne la surface. D'une manière générale, l'éclairement d'un corps diminue avec sa surface, mais cette diminution n'est pas la même pour toutes les couleurs, elle est d'autant plus importante que la couleur est réfrangible, c'est-à-dire voisine du violet.

Ces quelques remarques servent à expliquer un très grand nombre de faits se rapportant aux lumières colorées. La couleur rouge est celle que l'on distingue le plus facilement à distance; un feu de bengale de cette couleur apparaît à près de 30 kilomètres. Elle permet également de voir plus facilement les objets; on peut s'en apercevoir en comparant l'éclairement fourni par les diverses flammes d'un feu d'artifice.

La lumière jaune vient ensuite. C'est la plus répandue et celle à laquelle l'œil est le plus habitué. Elle exerce du reste sur cet organe un effet particulier; seules les radiations jaunes contractent la pupille. Cette faculté de l'œil de s'adapter parfaitement à la lumière jaune est basée sur une loi de physiologie générale : l'adaptation du système nerveux à l'habitude des circonstances extérieures qui, dans le cas, est la lumière solaire.

Quant aux autres couleurs, leur pouvoir éclairant va sans cesse en diminuant avec leur réfrangibilité.

On s'explique dès lors pourquoi, dans les signaux, on emploie la lumière rouge puis la lumière verte. C'est pour la même raison également que la substitution de flammes colorées à la lumière jaune de l'huile du pétrole ou du gaz nécessite une augmentation d'intensité. Une autre conséquence importante est celle des mesures photométriques inexactes avec les moyens actuellement employés. Elles devraient porter comme l'a proposé M. Crova, non seulement sur l'intensité mais également sur la teinte de la source lumineuse; ce résultat pourrait être obtenu en comparant entre elles des radiations particulières fixées à l'avance. Les lumières colorées ont quelques défauts qu'il faut corriger lorsqu'il s'agit de l'éclairage en général; d'abord elles nuisent à la distinction des couleurs, et ensuite en exerçant leur action continue sur

l'œil elles ne tardent pas à faire apparaître sur les objets voisins la couleur complémentaire. On fait disparaître ces inconvénients, en les entourant de globes ayant la nuance complémentaire ; de cette façon on obtient de la lumière blanche.

En résumé, il résulte des considérations précédentes sur l'éclat et la couleur d'une source lumineuse que les lumières à faible éclat et de couleur peu réfrangible sont préférables. A ce point de vue, les flammes jaunes à grande surface sont les plus avantageuses.

**Absorption.** — Les foyers à grande surface éclairante offrent toutefois un inconvénient : l'absorption de la lumière due à la flamme elle-même. Il ne faudrait pas exagérer l'importance de ce défaut, car les flammes sont suffisamment transparentes pour que cette perte de lumière soit relativement faible.

Ainsi la flamme d'un papillon considérée dans un plan horizontal donne à peu près la même intensité lumineuse dans toutes les directions, sauf dans celle correspondant au plan du papillon où la perte atteint 3 %.

La flamme d'une lampe à huile placée devant l'arc voltaïque ne lui fait perdre également, que 3 % de son intensité. Généralement, on ne tient pas compte de cet affaiblissement dans l'évaluation du pouvoir éclairant. Il est, du reste, négligeable, comparé à l'absorption des milieux traversés par la lumière.

Ces milieux ne laissent passer qu'une partie des rayons colorés qui la composent, absorbant plus ou moins les autres. Ils prennent alors la couleur des rayons complémentaires. C'est ainsi qu'à la lumière du jour, l'air paraît bleu, une lame de verre épaisse semble verte. Il en résulte également que, suivant la couleur de la lumière, le milieu traversé en absorbera plus ou moins. Dans le cas particulier du brouillard, la lumière du gaz est plus visible que celle de l'arc voltaïque car, étant plus riche en rayons rouges, l'absorption par la vapeur d'eau est moins considérable. Cette puissance de pénétration indique en quelque sorte le degré de visibilité d'une source lumineuse quelconque. Toutes les lumières de même degré d'intensité ne sont donc pas visibles à la même distance. La lumière oxyhydrique très intense apparaît la nuit à une distance de 100 kilomètres. Un feu de bengale d'intensité assez faible est visible cependant à 30 kilomètres.

**Eclairement.** — Dans tout ce qui précède, les observations et les mesures ont été faites sur la source lumineuse elle-même, mais, en réalité, ce n'est pas tant la quantité de lumière dont on dispose qu'il est intéressant de connaître, que celle qui est utilisée, c'est-à-dire celle reçue par chaque objet éclairé. On juge, du reste, de la valeur d'un éclairage par le degré d'éclairement de l'espace dans lequel il exerce son action. Une seule expérience facile à répéter justifie l'importance de cette observation. Par exemple, dans le cas de la lumière diffuse du jour par un temps couvert, il est possible de mesurer la valeur de l'éclairement bien qu'on ne puisse pas connaître l'intensité de la source lumineuse elle-même.

L'unité d'éclairement adoptée est la *bougie-mètre*, ou la *carcel-mètre*, c'est-à-dire l'éclairement produit sur une surface par la bougie décimale, ou par la carcel, placée à un mètre. Le principe des photomètres usités pour cette mesure consiste à comparer l'éclairement à mesurer sur une surface, à celui de la même surface éclairée par la lumière prise comme étalon.

Ces essais sont assez délicats, mais ils donnent cependant des renseignements très précieux. Voici du reste quelques chiffres dus aux expériences de M. de Neville.

Opéra	{	Salle. . . . .	10	bougie-mètres
		Foyer . . . . .	10 à 20	—
		Couloir. . . . .	1 à 5	—
Hippodrome	{	Piste . . . . .	70	bougie-mètres
		Aux extrémités du grand axe . . .	44	—
		Aux extrémités du petit axe . . .	16 à 20	—
Exposition de 1889	{	Galerie des Machines. . . . .	20	bougie-mètres
		Espaces découverts . . . . .	12,50	—
		Avenues et cours. . . . .	7,50	—
		Jardins . . . . .	1	—

Ces chiffres ne sont qu'approximatifs et varient avec chaque expérimentateur, puisque d'après M. Mascart, l'éclairement du foyer de l'Opéra serait de 40 bougie-mètres, mais ils suffisent pour indiquer la différence d'éclairement qu'il peut exister d'un point à un autre. Toutefois, ces divergences n'ont qu'une importance secondaire, car l'œil en vertu de l'adaptation rétinienne s'habitue très bien aux divers éclairements et sa sensibilité est d'autant plus grande que l'éclairement est faible.

Pour lire aussi facilement qu'en plein jour, il faudrait un éclairement

de 30 bougie-mètres, mais en réalité dans les bureaux, on se contente de 15 bougie-mètres.

L'éclairage ne dépend pas seulement de la nature des foyers, mais encore de leur distribution. On doit autant que possible chercher à le rendre uniforme, de manière à se rapprocher de la lumière diffuse du jour ; il faut éviter en effet d'avoir des surfaces d'éclat différent ; cette condition est la plus difficile à réaliser. L'éclairage est également fonction de la nature des locaux éclairés. Dans les salles où les murs, les tentures, les meubles sont très sombres, la lumière réfléchie est pour ainsi dire nulle, l'éclairage est alors faible. Au contraire, dans le cas de surfaces blanches, de glaces, la lumière diffusée concourt pour beaucoup à l'éclairage général. Elle peut atteindre 4 ou 5 fois la valeur de la lumière directe. Ces quelques considérations montrent l'intérêt qu'il y a à connaître la valeur de l'éclairage des surfaces éclairées autant que l'intensité des sources lumineuses elles-mêmes.

**Éclairage privé. — Éclairage public.** — Un éclairage artificiel doit se rapprocher autant que possible des conditions habituelles de la lumière solaire, c'est-à-dire de l'uniformité. Il y a deux cas à considérer, l'éclairage privé, et l'éclairage public.

Lorsqu'il s'agit d'éclairer un local où l'on se déplace constamment, il faut que le nombre des foyers soit en quantité suffisante pour avoir en tous les points le même éclairage. Ce résultat ne peut être atteint qu'avec des sources lumineuses de faible intensité, distribuées uniformément. Leur intensité dépend de la nature des parois de la salle, elle sera d'autant plus faible qu'elles seront plus claires. Leur hauteur doit être telle que l'œil ne puisse les rencontrer dans son champ visuel. Lavoisier avait déjà signalé le fait dans son mémoire sur la manière d'éclairer les salles de spectacle, il cite même l'exemple de Servandoni, qui dans celle des Tuileries, faisait emporter les lustres au moment du lever du rideau. C'est du reste de cette manière que la scène des théâtres est éclairée au moyen de foyers disposés sur des herses invisibles aux yeux du public. Au lieu de multiplier les foyers, on peut prendre des sources lumineuses de grande intensité, et placées assez haut, à la condition d'ajouter aux endroits peu éclairés quelques petits foyers. C'est ainsi qu'on peut éclairer une salle avec des lampes à arc et à incandescence ; ce mélange de lumières blanche et jaune produit un effet assez satisfaisant, à la condition toujours, que les lampes ne soient pas placées dans

le champ visuel et que les appareils d'un même genre brûlent à la même couleur.

Lorsqu'il s'agit au contraire de pièces dans lesquelles les personnes occupent la même place, comme par exemple dans une salle à manger, dans un bureau, une école, l'éclairage doit être très intense en certains points au détriment des autres. Ce résultat est obtenu le plus souvent au moyen de réflecteurs qui ramènent la lumière aux endroits importants. On emploie encore avantageusement les becs à flamme en dessous dont le foyer ne se trouve pas dans le champ visuel. La teinte des parois de la pièce a alors une importance secondaire et sert au contraire par contraste à faire ressortir les parties éclairées.

L'éclairage public ou en plein air, se trouve dans des conditions identiques à celui d'une vaste salle. On doit rechercher surtout l'uniformité, qui actuellement n'existe guère. Il arrive en effet, bien souvent, que l'œil habitué à l'éclairage d'un magasin, a de la peine à voir clair au milieu de la rue. Cet excès de lumière en certains points, a pour effet, d'augmenter la crudité des ombres et d'empêcher toute netteté de la vision dans les endroits peu éclairés.

On peut obtenir l'uniformité d'éclairage sur le sol, en multipliant le nombre des foyers, comme le recommandait Lavoisier. Mais alors, l'entretien des appareils est trop considérable ; de plus, si l'on emploie des candélabres, on gêne la circulation. Aussi, cette solution n'est pas adoptée.

Il vaut mieux recourir à des becs de forte intensité tout à fait spéciaux et convenablement disposés. Le bec ne doit pas donner son intensité maximum sur la verticale, mais bien sous une inclinaison assez forte. L'intensité de la lumière allant en décroissant suivant le carré de la distance, c'est au point le plus éloigné de l'appareil, que doit correspondre l'intensité maximum. A ce point de vue, les lampes à arc à courants continus conviennent parfaitement ; elles sont préférables à celles à courants alternatifs qui donnent le maximum d'intensité sur l'horizontale et nécessitent l'emploi de réflecteurs. Il en est de même des becs de gaz à flamme verticale, dont l'intensité maximum a lieu sur l'horizontale, mais que l'on rabat au moyen d'un réflecteur. Dans ces conditions, la lumière se distribue suivant un cône, et le cercle lumineux obtenu sur le plan horizontal possède à peu près en tous les points le même éclairage. On dispose les appareils à des distances telles, que les cercles soient tangents les uns aux autres, en laissant entre eux le moins de vide possible. On évite également qu'ils se coupent irrégulièrement.

Dans l'éclairage d'une rue, ils sont ordinairement alternés d'un trottoir à l'autre, cette répartition de la lumière est alors très favorable.

Le rayon du cercle dépend surtout de la hauteur de l'appareil. En général, tous les brûleurs actuels pour l'éclairage des espaces découverts sont placés à des hauteurs insuffisantes, il est vrai qu'on se trouve subordonné à des considérations d'entretien ou de construction. Mais, plus les appareils sont élevés, moins il y a d'ombre et plus l'éclairage est uniforme. Les potences électriques dont les lampes peuvent être descendues facilement conviennent parfaitement pour les grandes hauteurs.

A Paris, les candélabres à gaz sont séparés de 20 mètres au moins et de 40 au plus; les dénivellations des terrains sont rachetées au moyen de candélabres de hauteur différente de manière à ne présenter à l'œil qu'une seule file de lumières.

L'espacement des candélabres électriques est de 40 mètres et leur hauteur de 5 mètres. Ces chiffres n'ont rien d'absolu, car il faut tenir compte de l'état de l'atmosphère. Il est bien évident que dans les villes où il y a souvent du brouillard, il est nécessaire de rapprocher davantage les appareils pour compenser l'absorption considérable de lumière.

En résumé, on ne saurait poser de règle fixe pour l'établissement d'un éclairage quelconque, il vaut mieux se reporter à ce qui a été déjà fait dans des circonstances analogues et procéder par comparaison.

## II. Application des diverses sources lumineuses.

**Énergie absorbée par les diverses sources lumineuses.** — La question de la comparaison des divers modes d'éclairage entre eux a soulevé bien des controverses. Chaque fois qu'un système nouveau est apparu tous les autres se sont élevés contre lui, en exagérant ses inconvénients; c'est une des conséquences de la concurrence. Toutefois, d'une façon générale, le résultat a été d'augmenter la production de lumière sans nuire à aucun des systèmes existants. Ainsi, lorsque le gaz fit son apparition, les fabricants d'appareils à huile croyaient leur monopole fini, bien au contraire, la consommation d'huile ne fit que s'accroître. On a dit du reste, très justement, que la lumière appelait la lumière.

Quoiqu'il en soit, aucun système ne saurait résoudre, à lui seul, le problème si complexe de l'éclairage. Les exigences sont si multiples que tous les procédés ont une application plus ou moins immédiate. Chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients. L'éclairage des boulevards ne saurait être le même que celui d'une maison isolée.

On rencontre actuellement l'emploi judicieux des divers modes d'éclairage établi d'après les besoins eux-mêmes. Cet emploi est subordonné à bien des conditions parmi lesquelles la question du prix de revient est une des plus importantes. On a déterminé la quantité d'énergie nécessaire pour produire l'unité de lumière avec les divers systèmes d'éclairage. Voici exprimés en watts cette dépense par bougie ;

Suif . . . . .	124 watts par bougie
Cire . . . . .	94 —
Acide stéarique . . . . .	90 —
Spermaceti . . . . .	86 —
Huile minérale. . . . .	80 —
Huile végétale. . . . .	57 —
Gaz . . . . .	68 —
Cannel Coal . . . . .	48 —
Incandescence électrique. . . . .	3,5 —
Arc voltaïque . . . . .	0,6 —

On voit que c'est l'arc voltaïque dont la production de lumière exige le minimum d'énergie. Il serait alors très facile de comparer les diverses sources lumineuses au point de vue de leur dépense d'énergie, si la manière de la produire était identique. Mais au contraire, il y a les plus grandes divergences, et on est obligé de recourir à d'autres considérations pour trouver des points de comparaison.

**Huile.** — AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS. — Tant que l'éclairage à l'huile a été le seul employé, on ne s'est pas inquiété de ses avantages et de ses inconvénients. Comme on ne disposait que de cette seule source lumineuse, il n'était guère opportun de s'occuper de son prix de revient; il n'en est plus de même depuis l'apparition du pétrole.

L'éclairage à l'huile est très agréable, sa lumière jaune est très douce, car son éclat n'est pas très considérable. D'une grande régularité, il peut être employé avantageusement, lorsqu'il s'agit d'éclairer des travaux qui demandent une attention soutenue et où les yeux sont constamment portés sur le même point. Mais en dehors de l'éclairage des bureaux, cette obligation est moins importante, et l'on ne saurait se soumettre d'une façon générale à tous les assujettissements que comporte cette source d'éclairage.

Les appareils doivent être préparés avec le plus grand soin. Il faut couper les mèches, nettoyer les cheminées, essuyer le réservoir. Pendant le fonctionnement des lampes modérateurs, qui sont les seules employées couramment, il faut les remonter à des intervalles plus ou moins rapprochés. Enfin, le reproche capital qu'on peut lui faire, c'est son prix de revient élevé qui en fait un éclairage de luxe par excellence.

**PRIX DE REVIENT.** — Quel que soit le genre de lampe employé, on ne produit guère l'unité de lumière, c'est-à-dire la carcel, qu'avec une consommation voisine de 45 grammes. En estimant le prix du kilogramme d'huile à 4 fr.,30, le prix de la carcel-heure est de 0 fr.,0583 non compris les autres frais comme verres, chiffons, consommés en assez grande quantité cependant. Aussi cet éclairage n'est-il guère employé que dans des cas tout à fait limités.

Il faut encore y joindre l'usage qu'on en fait pour les éclairages mobiles de faible intensité, comme dans les voitures de chemins de fer ou de tramways. Les considérations ne sont plus les mêmes que précédemment, l'huile est recherchée à cause de sa grande sécurité. De plus, ces

installations très anciennes ne sauraient disparaître instantanément par suite du capital engagé. Toutefois elles tendent à se transformer; on leur substitue de plus en plus le gaz ou l'électricité. La consommation de l'huile va sans cesse en diminuant, il suffit de se reporter aux chiffres fournis par M. Fontaine sur la consommation parisienne dans une période de quarante ans environ.

En 1855 elle était de . . . . .		6.894.000 kilogs.
1872 — . . . . .		8.951.000 —
1877 — . . . . .		7.871.000 —
1883 — . . . . .		7.451.000 —
1889 — . . . . .		6.180.000 —

On voit qu'elle a baissé depuis 1872, mais on trouve que cette décroissance remonte bien plus haut quand on examine la consommation par habitant :

En 1855 elle était de . . . . .		5 <sup>k</sup> ,870
1872 — . . . . .		4,830
1877 — . . . . .		3,850
1883 — . . . . .		3,230
1889 — . . . . .		2,580

La période la plus florissante pour l'éclairage à l'huile s'étend de 1830 à 1860, époque vers laquelle l'huile minérale fait son apparition. Depuis lors, loin de concourir à l'augmentation de la production de la lumière, il est resté stationnaire, remplacé en majeure partie par celui au pétrole.

**Pétrole.** — AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS. — L'huile minérale fournit trois substances employées à l'éclairage; mais toutes n'ont pas la même importance. Les huiles lourdes ne conviennent que dans des cas tout à fait spéciaux. Quant à l'essence, bien que très répandue, elle ne sert que pour les éclairages portatifs de faible intensité, et peut être comparée, à ce point de vue, à la bougie ou à la chandelle. Le bon marché des lampes à essence explique toutefois le chiffre de 500.000 appareils fabriqués annuellement à Paris. Il reste donc le troisième produit, c'est-à-dire le pétrole.

L'usage du pétrole est général; son succès est dû en majeure partie à son prix de revient peu élevé ainsi qu'à celui des lampes. Comme

celle de l'huile, sa lumière est jaune, mais moins agréable à l'œil. Bien des personnes, peut-être un peu prévenues contre lui, ne peuvent l'employer pour l'éclairage de travaux minutieux, et lui préfèrent l'huile; toutefois sa lumière est moins régulière; au fur et à mesure de la combustion, la mèche charbonne, et le liquide s'élève moins facilement jusqu'à la flamme. De plus, le pétrole laisse toujours au fond du réservoir un résidu d'huiles lourdes qui ne s'élèvent plus à la flamme par capillarité, et sont impropres à l'éclairage. Aussi pour mesurer le pouvoir éclairant d'une lampe à pétrole, il ne faut pas se contenter d'un seul essai photométrique à l'allumage, mais bien d'essais successifs à divers intervalles, et de prendre ensuite la moyenne de ces essais, qui est désignée sous le nom d'*intensité moyenne*. Il est vrai de dire que la consommation est proportionnelle à l'intensité, et qu'elle est beaucoup plus importante au commencement qu'à la fin.

La combustion du pétrole dégage une chaleur considérable qui peut devenir incommodante avec les lampes intensives. Les produits de la combustion laissent échapper également une odeur désagréable, mais, depuis l'apparition des pétroles raffinés, ce défaut s'est bien atténué.

Malgré les nombreuses tentatives, il subsiste toujours un inconvénient qu'il n'a pas été encore possible de faire disparaître : c'est le suintement du pétrole. Quelle que soit la nature de la substance du réservoir, verre, porcelaine ou métal, il est toujours enduit d'une couche de pétrole qui se volatilise sous l'action de la chaleur et répand une odeur désagréable.

Le pétrole est employé surtout à l'éclairage intérieur des habitations; on construit des lampes correspondant à tous les besoins; aussi peu à peu il se substitue à l'huile et même à l'essence.

Comme éclairage extérieur, le pétrole est employé quelquefois dans des villes de faible importance. Il est usité également dans les gares, ateliers et usines, éloignés de tout centre considérable. Mais alors la nécessité de préparer chaque jour les appareils, la difficulté d'allumage diminuent de beaucoup les avantages de ce mode d'éclairage.

**PRIX DE REVIENT** — Dans cette source lumineuse, la production de la carcel-heure nécessite en moyenne 30 grammes de pétrole. Le prix du pétrole, n'étant plus que de 0 fr. 40 le kilogramme, on voit que la carcel-heure revient à 0 fr. 012. Comme pour l'éclairage à l'huile, pour être exact, il faudrait faire entrer en ligne de compte l'entretien, la verrerie,

les chiffons. Dans les grandes installations, ces divers frais atteignent une valeur importante, qui n'est plus négligeable.

Quoi qu'il en soit, cet éclairage coûte meilleur marché que celui à l'huile; aussi a-t-il été dénommé, par opposition, l'éclairage du pauvre. Cette raison suffit pour expliquer son développement rapide.

On trouve, pour la France, que la consommation par habitant a suivi la progression suivante :

En 1867 . . . . .	0 <sup>fr</sup> ,47
1878 . . . . .	1 ,60
1888 . . . . .	4 ,50
1889 . . . . .	4 ,80

soit, pour cette dernière année, une augmentation totale de 184.101.000 kilogrammes; dans l'intervalle, la population n'a pas sensiblement changé. Cette consommation a été longtemps gênée par suite des droits de douane et d'octroi que devait supporter le pétrole. Ils ont été réduits en 1893, ce qui lui permettra peut-être d'atteindre le chiffre des autres pays. A Berlin, on consomme cinq fois la même quantité de pétrole qu'à Paris; en Belgique, toutes proportions gardées, elle est quatre fois supérieure à celle de la France.

Le pétrole, ne nécessitant ni usine, ni canalisation, pénètre un peu partout, dans les villes comme dans les campagnes; la quantité de lumière fournie par cette substance est aujourd'hui équivalente à celle du gaz; elle s'accroît du reste régulièrement tous les jours, bien qu'elle ait à soutenir la concurrence importante du gaz et de l'électricité.

**Gaz.** — AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS. — Le gaz, dans un espace d'une centaine d'années environ, s'est développé d'une façon extraordinaire. Il est bien peu de villes de quelque importance qui ne soient éclairées au gaz. Ce succès s'explique par ses grandes qualités comme source lumineuse : pas de réservoir à remplir, de mèche à couper, en un mot, pas de lampe à faire. L'allumage en est très facile, et l'entretien presque nul. La flamme obtenue, d'un jaune brillant, n'a pas la même fixité que celle de la lampe à huile; elle est cependant bien suffisante; elle ne permet pas toutefois la distinction des couleurs, mais, avec les becs à incandescence, cet inconvénient disparaît.

C'est à l'éclairage public que le gaz a rendu le plus de services, surtout depuis l'apparition des brûleurs intensifs. Cet éclairage qui n'existait pas il y a une centaine d'années est devenu aujourd'hui indispensable.

A côté de ces avantages, il y a bien quelques inconvénients. L'obligation d'installer une usine toujours d'une certaine importance exclut son emploi des petites localités ou des habitations isolées. Il y a bien les gaz particuliers comme le gaz riche, le gaz à l'air, mais ces divers procédés nécessitent des installations spéciales que l'on ne saurait généraliser. En possession de l'usine, il faut en outre placer une canalisation souterraine. Or les conduites de gaz fuient toujours quel que soit le soin apporté à leur construction, on doit compter sur 5 % de perte au moins; constamment il faut réparer cette canalisation, et, comme il est assez difficile de préciser l'endroit exact des fuites, les recherches sont presque aussi longues que les réparations.

Lorsque ces fuites se produisent dans les habitations, les inconvénients sont plus graves encore, car elles peuvent amener des explosions ou occasionner l'asphyxie des personnes présentes. Toutefois ce dernier danger est corrigé en partie par l'odeur du gaz, qui décèle facilement sa présence.

Comme source lumineuse, le gaz dégage une chaleur considérable soit par les produits de la combustion qui s'échappent à une très haute température, soit par rayonnement direct. De plus, il vicie l'air par le fait même qu'il en absorbe l'oxygène nécessaire à sa combustion et qu'il rejette à la place des produits irrespirables. C'est le grand reproché qui lui a toujours été fait. Dans ces dernières années de nombreuses recherches ont été entreprises pour supprimer ces divers inconvénients, et loin d'être un danger, le gaz est devenu un puissant auxiliaire de ventilation. Les appareils les plus simples ou *sun burners* sont formés par le groupement de 6 becs Manchester fixés horizontalement sur une même couronne placée près du plafond; les produits s'échappent dans deux cheminées concentriques. Il en résulte un appel énergique d'air pur. On peut également disposer les becs à flamme en dessous de manière à rejeter les gaz brûlés à l'extérieur et, par suite, à ventiler l'air de la salle. Mais ce résultat, très satisfaisant du reste, n'est obtenu qu'au prix d'une complication onéreuse. De plus, on ne supprime pas la chaleur rayonnante et encore bien moins les causes d'incendie. On se rappelle avec effroi les divers sinistres occasionnés par le gaz

d'éclairage qui ont amené son exclusion définitive des théâtres. Il ne faudrait cependant pas exagérer cette crainte.

Au point de vue de la qualité de la lumière, le gaz n'étant pas toujours suffisamment épuré, il est à peu près impossible de se rendre compte à l'œil nu de son pouvoir éclairant, d'où obligation d'installer des laboratoires municipaux dont l'emploi est difficile à généraliser.

Ces divers défauts n'ont cependant pas empêché le gaz de se répandre avec une grande rapidité. Son accroissement s'explique par le fait qu'il a été pendant fort longtemps la seule source lumineuse importante.

Le tableau suivant indique la progression suivie par la ville de Paris.

En 1855 la consommation s'élevait à . . .	40.774.400 mètres cubes
1865 — — . . .	116.171.727 —
1875 — — . . .	175.938.244 —
1885 — — . . .	286.463.999 —
1890 — — . . .	307.861.880 —

Ce développement n'a pas seulement eu lieu à Paris. En 1878, la France entière consommait 382 millions de mètres cubes, et en 1888 617 millions, soit une augmentation de 235 millions en l'espace de 10 ans. On voit que Paris entre seul pour la moitié dans l'estimation de la consommation totale.

L'usage du gaz s'est surtout généralisé dans les centres houillers et dans toutes les villes importantes. En 1889, on comptait en France un millier de villes éclairées au gaz, correspondant à 12 millions d'habitants, soit à peu près un tiers de la population française.

La répartition se fait un peu d'après l'importance des villes.

A Paris elle est de . . .	108 mètres cubes par an et par habitant
A Lyon — . . .	64 — —
A Marseille — . . .	55 — —
A Bordeaux — . . .	77 — —

Si maintenant on compare la France aux autres pays, on trouve qu'elle est de beaucoup au-dessous. Pour la ville de Londres seule, la consommation atteint, à raison de 165 mètres cubes par habitant, 787.873.000 mètres cubes, c'est-à-dire un chiffre supérieur à celui de la France entière. L'Angleterre consomme deux millions de mètres cubes de gaz, soit cinq fois la consommation de toute la France. Cette énorme

quantité est due en majeure partie au grand nombre de centres industriels de cette nation.

Les autres pays se rapprochent davantage de la France.

Berlin consomme par habitant. . . . .	80 mètres cubes
Cologne — — . . . . .	103 —
Munich — — . . . . .	58 —
Dresde — — . . . . .	58 —
Stuttgart — — . . . . .	40 —

Le gaz se trouve à peu près universellement répandu et la marche en avant de cette industrie n'a cessé d'être constante, mais ses progrès sont dus aux efforts incessants des diverses Compagnies pour favoriser son extension.

Les installations du début furent faites chez les particuliers pour qui cet éclairage était indispensable, aussi durent-ils supporter les dépenses de premier établissement. Une simple police approuvée par l'administration municipale réglait ensuite leurs rapports avec l'usine.

Mais une fois ces premiers abonnés servis, il fallut faire appel à de nouvelles séries de clients pour qui l'emploi du gaz était facultatif. On n'y parvint qu'en ayant recours à plusieurs combinaisons.

C'est ainsi que, dans les cités ouvrières, on a imaginé de faire les encaissements tous les huit jours et de louer aux intéressés des appareils pour une période de temps aussi restreinte. Ce procédé a été appliqué à Rouen.

A Paris, la Compagnie Parisienne du Gaz pour faciliter l'introduction de ce combustible dans les habitations a décidé, depuis plus de trente ans, de faire poser à ses frais dans un grand nombre de maisons importantes, des conduites principales, dites conduites montantes placées dans la cage de l'escalier et sur lesquelles viennent se brancher les prises de gaz des différents étages. L'installation en est faite par les soins de ses appareilleurs qui ont obtenu du propriétaire de l'immeuble l'engagement d'établir à ses frais dans trois appartements une installation de trois becs au moins. Au lieu du propriétaire, l'engagement peut être pris par plusieurs locataires ayant signé un abonnement pour une consommation et un délai déterminés. La Compagnie se réserve toutefois le droit de vérifier si l'éclairage probable sera suffisamment rémunérateur. Le propriétaire doit alors conserver au moins pendant 10 ans cette conduite montante qui appartient toujours à la Compagnie. Pour favoriser

l'installation du gaz dans les appartements, elle accorde une prime de trente francs avec la propriété complète des appareils à tout locataire qui le premier fait établir sur la colonne montante un branchement destiné à un appartement éclairé pour la première fois.

De même pour encourager ses appareilleurs, qui sont en quelque sorte ses placiers, elle accorde une prime de cinquante francs à celui d'entre eux qui se charge de poser à ses frais, risques et périls, deux becs dans un immeuble à la condition qu'il en fera l'abandon au propriétaire de l'immeuble.

Enfin, elle loue des branchements, des compteurs à des conditions déterminées. En ce qui concerne les branchements pour les étages inférieurs, l'installation n'en est faite que si le client prend un abonnement pour trois ans.

En 1890, le nombre des abonnés à Paris était de 233.010 supérieur de 8.891 à celui de 1889. Le chiffre des colonnes montantes réparties dans 23.690 maisons s'élevait à 30.230, dont la majeure partie avait été placée aux frais de la Compagnie par le soin de ses appareilleurs.

Pour empêcher les grandes industries ou les grands magasins de chercher à s'éclairer eux-mêmes, elle peut leur abaisser le prix du gaz, à la seule condition d'appliquer ce même tarif à tous les industriels de la même catégorie.

Les diverses combinaisons énumérées ne sont pas les seules employées, car toutes les usines cherchent à faciliter le développement du gaz. Ses nouvelles applications au chauffage et à la force motrice viennent encore favoriser son extension et entrent déjà pour une bonne part dans la consommation actuelle.

**PRIX DE REVIENT.** — Quant au prix de revient il est essentiellement variable d'un pays à l'autre. On comprend en effet que des causes multiples peuvent intervenir : le prix de la tonne de houille, de la main-d'œuvre, de la vente des sous-produits, etc. En général, comme les Compagnies ont le monopole de l'éclairage au gaz, le prix du mètre cube évalué au compteur est fixé d'accord avec l'Administration municipale. La taxe a deux valeurs suivant qu'elle s'adresse aux particuliers ou qu'il s'agit d'éclairage public. Le prix du mètre varie depuis 0 fr. 12 jusqu'à 0 fr. 40 suivant les localités. Lorsque ce prix est assez faible, l'influence de la nature du brûleur a peu d'importance, il n'en est plus de même s'il est élevé, on a alors intérêt à employer des appareils à

consommation réduite dont le prix d'achat est vite compensé par l'économie dans la consommation de gaz.

Il suffit du reste de rappeler les chiffres de consommation et l'intensité des principaux becs pour connaître la valeur de cette réduction.

NATURE DU BRULEUR	CONSOMMATION totale	INTENSITÉ maximum	CONSOMMATION par carcel
Bec Bengel. . . . .	105 <sup>l.</sup>	1 <sup>c</sup>	105 <sup>l.</sup>
Bec Papillon 6/10. . . . .	140	1 <sup>c</sup> ,1	127
Bec 4 Septembre . . . . .	1.400	13 <sup>c</sup>	105
Bec Siemens . . . . .	1.600	42 <sup>c</sup>	38
Bec Parisien (Schulke) . . . . .	350	6 <sup>c</sup>	58
Bec Industriel . . . . .	415	8 <sup>c</sup> ,5	40
Bec Wenham . . . . .	200	2 <sup>c</sup> ,32	80
Bec Aner . . . . .	80	3 <sup>c</sup>	26
Bec Albo-Carbon . . . . .	107	3 <sup>c</sup> ,5	30

Si l'on admet le prix du mètre cube à 0 fr. 30, comme il coûte à Paris, on voit alors que la carcel-heure revient en moyenne pour les

Becs à air libre à 110 litres par carcel à . . . . .	0 <sup>r</sup> ,0330
Becs à récupération à 50 litres par carcel . . . . .	0 ,0150
Becs à incandescence à 26 litres par carcel . . . . .	0 ,0078

Le prix du gaz à 0 fr. 30 doit être regardé comme un chiffre élevé; c'est alors qu'il convient d'employer des brûleurs économiques qui permettent d'obtenir des réductions importantes sur la consommation du gaz. D'après les chiffres précédents, le coût de l'éclairage peut varier du simple au triple suivant la nature des brûleurs. L'économie n'est pas aussi grande, car le prix des becs à flamme en-dessous ou l'entretien des brûleurs à incandescence viennent augmenter le prix de la lumière. Il faut reconnaître toutefois que les becs à incandescence réalisent une économie d'au moins un tiers sur les brûleurs ordinaires. On s'explique dès lors leur succès, qui ne peut que croître avec des résultats aussi satisfaisants.

Il semblerait, en voyant les chiffres de consommation par carcel des brûleurs intensifs employés à l'éclairage public, que la dépense totale pour cet éclairage ait diminué. Il n'en est rien, bien au contraire, cette

dépense va sans cesse en augmentant. C'est qu'on substitue aux becs papillons ordinaires consommant 140 litres à l'heure des becs intensifs dont la dépense s'élève à 1.400 litres et au-dessus. Mais il en résulte une conséquence importante : l'accroissement dans des proportions très sensibles de la quantité de lumière fournie.

Il suffit de se reporter aux chiffres du rapport de M. Cornuault sur l'éclairage au gaz de la rue de la Paix et de l'avenue de l'Opéra.

*Rue de la Paix 5,152 mètres carrés de surface*

	Installation ancienne	Installation nouvelle
Nombre de becs . . . . .	117 becs Papillon	117 becs Schulke
Consommation par bec . . . . .	140 litres	350 litres
Intensité lumineuse. . . . .	1 <sup>e</sup> ,1	6 <sup>e</sup>
Consommation totale . . . . .	16.380 litres	40.950 litres
Intensité totale . . . . .	118 carrels	702 carrels
Quantité de lumière par mètre carré	0 <sup>e</sup> ,025	0 <sup>e</sup> ,138
Rapport des deux éclairagements . . . . .	5,45	
Rapport des deux consommations . . . . .	2,05	

*Avenue de l'Opéra 20.040 mètres carrés de surface*

	Installation nouvelle	Installation ancienne
Nombre de becs. . . . .	189 Papillon	189 Guibout de 550l.
Nombre de becs. . . . .	7 4-Sept <sup>re</sup> .	7 — 1.200l.
Consomma- } Papillon . . . . .	140 litres	550 litres
tion par bec } Quatre-Septembre. . . . .	1.400 litres	1.200 litres
Intensité par } Papillon . . . . .	1 <sup>e</sup> ,1	550 litres. . . 11 <sup>e</sup> .
bec. . . } Quatre-Septembre. . . . .	13 <sup>e</sup>	1.100 litres. . . 27 <sup>e</sup> .
Consommation totale . . . . .	36.260 litres	112.350 litres
Intensité totale . . . . .	298 <sup>e</sup> ,9	2.268 <sup>e</sup>
Éclairagement par mètre carré . . . . .	0 <sup>e</sup> ,014	0 <sup>e</sup> ,108
Rapport des éclairagements . . . . .	7,50	
Rapport des consommations . . . . .	3,09	

Ce tableau montre d'abord l'avantage qu'il y a à employer les becs à récupération, mais il faut y voir en outre les progrès énormes faits dans l'éclairage public qui s'est accru dans le rapport de 5 et même 7,50. Cette progression rapide ne saurait être attribuée au gaz seul, car loin de prendre l'initiative, il n'a fait que suivre la lumière électrique dans ses développements inattendus.

**Électricité.** — AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS. — L'éclairage électrique est tout à fait récent, car tous les essais antérieurs à 1878 ne sauraient

être regardés comme des applications pratiques. Ce n'est que de cette époque qu'on a pu apprécier toutes les qualités importantes de l'arc voltaïque pour l'éclairage des grands espaces.

En première ligne, il faut remarquer qu'aucun des éclairages précédents n'a pu et ne pourra atteindre l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque. Sa teinte bleuâtre permet de distinguer facilement toutes les couleurs, fait qui n'a pas lieu avec la lumière jaune du gaz ou de l'incandescence électrique. La chaleur dégagée est extrêmement faible, mais cet avantage n'est que secondaire, l'éclairage à arc étant employé surtout en plein air ou dans des locaux très vastes.

Ce n'est pas seulement au point de vue de la qualité de la lumière que l'arc voltaïque est très avantageux. Il faut tenir compte ensuite de sa supériorité en ce qui concerne l'installation. Lorsque les fils conducteurs sont aériens, les pertes sont faciles à trouver et par suite à réparer. Dans le cas où ils sont souterrains, des regards nombreux installés en divers points de la canalisation ou aux branchements facilitent les recherches qui ne sont ni plus longues ni plus pénibles que celles du gaz. De plus, l'arc étant supérieur au gaz en intensité lumineuse, le nombre des appareils électriques est bien moins élevé que celui des brûleurs à gaz, par suite la longueur totale de la canalisation et le nombre des branchements sont moindres.

Au point de vue des risques d'incendie, ils sont plus grands avec les fils électriques qu'avec les tuyaux de plomb. Les premiers s'échauffent facilement, tandis que les conduites à gaz ne sont dangereuses que par les fuites qu'elles peuvent présenter, mais il faut bien reconnaître que l'électricité ne procure pas les ennuis du gaz avec ses robinets non fermés, et ses fuites toujours à craindre.

Une supériorité incontestable est celle de l'allumage, il suffit de manœuvrer un commutateur pour obtenir instantanément de la lumière, en outre, la commande de l'appareil peut se faire de l'endroit le plus commode sans avoir à se déplacer. Enfin, on n'est pas astreint comme dans le cas des becs intensifs à recourir à une veilleuse fonctionnant constamment.

A côté de toutes ces qualités, il y a bien quelques défauts. Les régulateurs à arc sont plus compliqués que les becs intensifs et par suite plus sujets à se détériorer. Tous les jours, et quelquefois même dans la nuit, il faut changer les charbons. Ce dernier inconvénient a été évité en partie en imaginant des lampes à deux ou trois paires de

crayons qui permettent de prolonger leur durée d'éclairage, mais presque toujours cet avantage est acquis au détriment du bon fonctionnement de l'appareil dont la lumière n'est plus aussi fixe. L'assujettissement de placer de nouveaux charbons n'est pas le seul ennui ; chaque jour, il faut nettoyer le régulateur ; cette opération, quoique peu difficile, demande des agents soigneux, car le plus souvent il y a des globes fort volumineux à déplacer. La hauteur considérable des régulateurs les exclut de l'intérieur des habitations, il est assez difficile d'obtenir avec eux la division de la lumière ; au-dessous d'une certaine intensité, il vaut mieux recourir aux lampes à incandescence.

Ce qui a été dit pour les lampes à arc s'applique aux bougies électriques, sauf que ces dernières ont, en outre, contre elles, le peu de fixité de leur lumière et leur extinction nécessitant l'intervention d'un agent.

Les lampes à incandescence ont comme inconvénient leur grande consommation d'énergie qui rend cet éclairage très coûteux. On peut remarquer cependant que depuis quelques années les conditions se sont bien améliorées, le rendement s'est élevé et le prix d'achat des lampes au contraire a diminué. A part ce défaut, qui a bien son importance il est vrai, l'éclairage à incandescence est très commode et très propre. Peu ou pas d'entretien puisqu'il suffit d'essuyer la lampe ; pas de difficulté d'allumage, car on n'a qu'à manœuvrer un interrupteur. La lumière de la lampe à incandescence est très fixe et ne tremble pas comme celle des becs papillon. On a voulu y voir une cause d'infériorité en disant que dans les salles de fête, cette fixité pouvait paraître moins gaie, mais cette objection est tout à fait secondaire. Avec ces lampes, tout dégagement de chaleur est supprimé et l'atmosphère de la salle n'est plus viciée par le dégagement de gaz toxiques.

Les lampes à incandescence sont des appareils d'intérieur se prêtant très bien aux effets décoratifs. Leur faible intensité les exclut de l'éclairage public où elles ne sauraient lutter contre l'arc voltaïque. De nombreux essais ont du reste montré leur infériorité à ce sujet.

On reproche aux divers éclairages électriques de fournir une lumière trop éclatante, mais il est toujours facile d'y remédier par l'emploi d'un globe ou d'une ampoule dépolie. Ce que l'on perd en intensité lumineuse, on le regagne en uniformité et les ombres crues sont supprimées.

**PRIX DE REVIENT.** — Il reste maintenant à établir le prix de revient de cette lumière. Tant qu'il s'est agi d'installations particulières, la ques-

tion a été des plus difficiles. Il fallait d'abord faire entrer en ligne de compte toutes les dépenses pour la production de la force motrice, de plus, comme on ignorait absolument la quantité d'énergie produite, on arrivait aux résultats les plus contradictoires, et suivant les besoins de la cause à défendre, on prouvait que la lumière électrique coûtait plus cher ou meilleur marché que le gaz.

Depuis que le courant est fourni par des stations centrales, sa vente est soumise aux mêmes conditions économiques que celles des autres matières; elle suit la loi de l'offre et de la demande. Il est bien évident que dans ces conditions les prix établis présentent toute exactitude et toute garantie. On ne peut plus critiquer que les installations mêmes ou leur mode d'exploitation. On se trouve dès lors dans la même situation que celle des autres sources lumineuses.

Le prix de l'énergie électrique peut varier d'un endroit à l'autre comme pour toutes les matières. Le prix de la tonne de houille et de la main d'œuvre, le mode d'exploitation, ne sont pas les mêmes partout. L'unité de vente est le kilowattheure, et le nombre de kilowattheures consommés est enregistré d'une manière exacte par un compteur.

Il suffit donc de connaître la quantité de lumière, dont on dispose, pour fixer le prix de revient de l'éclairage, et le comparer ensuite aux autres sources lumineuses.

Mais c'est dans la détermination de l'intensité lumineuse des régulateurs ou des lampes à incandescence, qu'existent encore les plus grandes divergences. Comme dans tous les autres appareils, la répartition de lumière ne se fait pas d'une manière uniforme, de plus, le globe indispensable avec la lampe à arc, absorbe près de la moitié de la lumière. Autant de conditions qui font que, si tout n'est pas nettement défini, on peut arriver aux résultats les plus contradictoires.

Dans toutes ces mesures, il serait nécessaire de connaître l'intensité sphérique moyenne et de tenir compte de l'absorption du globe employé. Seulement, ces mesures n'ont pas encore été établies pour toutes les lampes, et on ne peut arriver à ce résultat que d'une façon très approximative. Des essais faits cependant à l'exposition d'Anvers, permettent de donner quelques chiffres, pour diverses lampes examinées précédemment.

LAMPES	INTENSITÉ	VOLTAGE	ÉNERGIE consommée	INTENSITÉ lumineuse maximum	INTENSITÉ sphérique moyenne	WATTS par carcel
Jaspar	20 <sup>a</sup>	47,5	950 w.	557°	192 c.	4,9
Gramme	16	46	736	471	160	4,6
»	13	45	585	265	115	5,1
»	6	46	276	145	47	5,8
Pilsen	15,6	46	717	446	160	4,5
»	11,1	45,5	500	276	100	5
»	8	47,5	380	190	66	5,7
Pieper	8	38,5	308	120	43	7
»	7	38,4	268	100	35	7,4
»	6	38,2	229	94	32	7
»	4	33,4	133	60	18	8

Ce tableau montre d'abord que les grandes intensités sont les plus avantageuses, et que la consommation d'énergie varie de 4 à 7 watts par carcel ou par 10 bougies.

M. Hippolyte Fontaine admet un chiffre plus élevé atteignant 10 watts par carcel. D'autres physiciens, au contraire, prennent une valeur moyenne, comprise entre 5 et 6 watts. On peut donc considérer, comme suffisamment approchés les chiffres fournis par le tableau précédent.

Mais dans ce tableau, il n'a pas été tenu compte de l'absorption par le globe, absorption qui diminue le pouvoir éclairant de 50 0/0, soit alors 8 watts par carcel pour les régulateurs à fort débit, et 14 pour les plus faibles, c'est-à-dire 11 en moyenne.

On peut reprocher à ce tableau de tout ramener à l'intensité sphérique moyenne, or comme la lampe à arc est employée en majeure partie à l'éclairage des espaces découverts, c'est l'intensité maximum qui a le plus d'intérêt, car elle délimite l'action du foyer, Il est très facile, connaissant l'une, d'obtenir l'autre avec une approximation suffisante : l'intensité sphérique moyenne est égale à 0,35 de l'intensité maximum.

En tenant compte des deux observations précédentes, on trouve pour les lampes les plus employées les chiffres suivants :

1° *Intensité sphérique moyenne*

Intensité de la lampe	Énergie dépensée	A feu nu	Avec globe
Lampe 6-8 amp.	280 w.	40 c.	20 c.
12-15	545	100	50
20-24	990	247	123

2° *Intensité maximum*

Intensité de la lampe	Énergie dépensée	A feu nu	Avec globe
Lampe 6-8 amp.	280 w.	112 c.	56 c.
12-15	545	285	140
20-24	990	711	350

Le prix du kilowattheure est très variable depuis 0 fr.,40 jusqu'à 1 fr.,20 (prix de Berlin); à Paris il coûte actuellement 1 fr.,10. Ces chiffres tendent à diminuer tous les jours, car on réduit la consommation en charbon dans les usines, de plus le rendement des machines dynamos et des canalisations augmente. Enfin, le nombre des abonnés allant constamment en croissant, les charges d'établissement sont réparties sur un plus grand nombre de consommateurs.

En prenant le chiffre de 0 fr.,40, la carcel-heure rapportée :

A l'intensité sphérique avec globe, coûte . . . . .	0 <sup>r</sup> ,0044
A l'intensité maximum avec globe — . . . . .	0 ,0015

Avec le chiffre de 1 fr.,10 la carcel-heure coûte environ trois fois plus, c'est-à-dire :

A l'intensité sphérique moyenne avec globe . . . . .	0 <sup>r</sup> ,0121
A l'intensité sphérique maximum avec globe. . . . .	0 ,0042

Lorsqu'il s'agit de lampes à incandescence, le calcul est beaucoup plus simple. Ces lampes étant employées le plus souvent avec du verre ordinaire, il n'y a pas à tenir compte de l'absorption de lumière. Du reste, elle est comprise dans la mesure photométrique même de l'intensité. En second lieu, l'intensité sphérique moyenne diffère très peu de l'intensité maximum. On peut admettre alors le chiffre fourni par les fabricants.

Actuellement, une lampe à incandescence consomme en moyenne trois watts et demi par bougie ou trente-cinq watts par carcel, c'est-à-dire trois fois plus que la lumière à arc dans les plus mauvaises conditions. Le prix de la carcel-heure est :

A raison de 1 fr. 10 le kilowatt de . . . . .	0 <sup>r</sup> ,038
A raison de 0 fr. 40 le kilowatt . . . . .	0 ,014

chiffres plus élevés que ceux du gaz.

Dans bien des cas, on a conservé le système par abonnement et l'on paie un prix variant entre 50 et 20 francs par lampe à incandescence et par an. Cette manière de procéder est irrationnelle; elle favorise certains consommateurs au détriment des autres, de plus, ce tarif est bien souvent insuffisant, car une lampe à incandescence coûte, en moyenne, 35 francs par an, non compris l'amortissement des frais d'installation qui atteignent 40 francs en moyenne.

Dans quelques villes, les lampes à incandescence sont tarifées à raison de 0 fr.,04 l'heure pour les dix bougies, et de 0 fr.,06 pour les seize bougies. Cette méthode qui n'est pas plus juste que la précédente, nécessite un contrôle constant difficile à obtenir.

En 1889, la Ville de Paris payait l'éclairage des boulevards d'après le nombre de foyers en service. Le prix de la lampe heure variait de 0 fr.,70 à 0 fr.,50 d'après le plus ou moins grand nombre de foyers concédés à chaque Compagnie. La dépense totale s'élevait alors à 782.750 francs.

Ce procédé est assez facile à appliquer, lorsqu'il n'y a qu'un abonné, les heures d'allumage et d'extinction sont parfaitement définies, et le soin de ces deux opérations est confié aux agents de la Compagnie qui fournit le courant.

D'une façon générale, les conditions faites aux abonnés sont sensiblement les mêmes que celles du gaz. Les Compagnies d'électricité ont profité de l'expérience des Compagnies gazières en ce qui concerne leurs rapports avec les particuliers et la manière de favoriser les abonnements.

Le prix de la lumière électrique a été pendant longtemps une cause d'arrêt dans son développement. Mais un grand nombre de villes et Paris en particulier ont passé outre, se préoccupant surtout de recourir à sa belle lumière, pour rehausser leur aspect général. En 1888, Paris ne comptait guère que 5.000 lampes, en 1893, le nombre des abonnés s'élevait à 200.000. On voit que malgré le prix de cet éclairage, plus élevé d'environ un quart que celui du gaz, le nombre des installations va sans cesse en augmentant.

Cette progression est sensiblement la même dans les autres pays. A Londres, où le gaz ne coûte que 0 fr. 10 à 0 fr. 12 le mètre cube, l'accroissement est très sensible; de 145.000 lampes en 1891, il est passé à 600.000 en 1893, le prix du kilowattheure étant de 0 fr. 75.

Le tableau suivant donne le prix du mètre cube de gaz et du kilowattheure dans différentes villes :

	Mètre cube de gaz	Kilowattheure
Paris . . . . .	0 <sup>fr</sup> ,30	1 <sup>fr</sup> ,10
Londres . . . . .	0 ,10 à 0 ,12	0 ,75
Berlin . . . . .	0 ,26	1 ,20
Le Havre . . . . .	0 ,21	0 ,80
Boulogne . . . . .	0 ,25	1 ,25
Milan . . . . .	0 ,29	0 ,80 à 1 ,25

Une autre cause d'obstruction au développement de l'électricité, a été le monopole des Compagnies gazières dans certaines villes. C'est peut-être pour cette raison, que l'électricité s'est répandue en Amérique, et en général dans tous les pays neufs, plus rapidement que sur l'ancien continent.

L'installation d'une usine électrique n'est pas plus compliquée que celle d'une usine à gaz, et dans bien des cas, elle est tout indiquée, car elle permet l'utilisation de forces naturelles, demeurées jusque là sans emploi.

Quoiqu'il en soit, l'éclairage électrique est loin d'avoir dit son dernier mot, il en est au contraire à ses débuts, il suffit pour s'en apercevoir, de suivre les progrès incessants faits pour ainsi dire journellement par cette source lumineuse.

**Comparaison.** — L'examen des divers modes d'éclairage a permis d'établir les différents prix de revient, groupés dans le tableau suivant :

NATURE DE LA SOURCE LUMINEUSE	PRIX de la carcel-heure
Huile de colza à 1 fr. 30 le kilogramme . . . . .	0 <sup>fr</sup> ,0585
Pétrole à 0 fr., 40 le kilogramme . . . . .	0 ,0120
Gaz à 0 fr., 30 le mètre cube {	Becs ordinaires à 110 litres . . . . . 0 ,0330
	Becs à récupération à 50 litres . . . . . 0 ,0150
	Becs à incandescence à 26 litres . . . . . 0 ,0078
Électricité à 1 fr., 10 le kilowattheure {	Arc voltaïque intensité sphérique } avec 0 ,0121
	» » » maximum } globe 0 ,0042
	Incandescence . . . . . 0 ,0380

Ces chiffres n'ont rien d'absolu, car ils ont été établis en ne tenant pas compte de la main-d'œuvre et des frais d'entretien qui entrent cependant pour une très large part dans le prix de revient de chaque source

lumineuse. Mais comme ils sont très variables déjà dans un même éclairage, il est à peu près impossible, de les évaluer d'une manière assez précise pour toutes les sources lumineuses. Le tableau précédent permet toutefois, connaissant le prix de l'unité, d'établir le prix de revient d'un éclairage quelconque. Il permet en outre, de se rendre compte au point de vue de la dépense, de la valeur relative de chaque procédé.

Cette considération n'est cependant pas la seule car le choix d'un éclairage est subordonné non seulement à son prix de revient, mais encore à une foule d'autres considérations d'ordre bien différent.

Bien qu'il soit impossible d'établir des règles fixes à ce sujet, on peut cependant d'après les applications qu'on fait régulièrement des divers systèmes, délimiter en quelque sorte leur champ d'action.

L'huile ne convient que dans un très petit nombre de cas, pour l'éclairage de bureaux et de travaux minutieux. Sa lumière, peu éclatante et très douce ne fatigue pas la vue. Mais son prix de revient excessif la limite aux applications précédentes. Quant à l'éclairage à l'huile des voitures de chemins de fer et des omnibus, il n'est que transitoire et n'est employé que par suite de la difficulté qu'on a d'adopter d'autres systèmes.

Le pétrole a déjà un champ plus vaste, c'est l'éclairage d'intérieur par excellence; on trouve, du reste, des lampes répondant à tous les besoins. Sa lumière, quoique moins douce que la précédente, suffit pour l'éclairage courant. Le bon marché des appareils fait qu'on peut avoir une lampe par salle; sa qualité principale est son économie.

En dehors de quelques installations de faible importance, il doit être éliminé d'une manière absolue de l'éclairage public, où il perd toutes ses qualités. L'obligation de préparer les lampes le rend tout à fait impropre à cet usage. Il vaut mieux alors recourir au gaz et à l'électricité qui, à l'inverse des deux systèmes précédents, sont d'autant plus avantageux que leur installation est faite sur une plus vaste échelle.

Le gaz et l'électricité empiètent tellement l'un sur l'autre qu'il est très difficile de bien délimiter leurs applications. La lutte est, en effet, très vive avec des alternatives de succès assez répétées. L'arc voltaïque fait apparaître les brûleurs intensifs, mais par contre, le bec à gaz ordinaire amène la lampe à incandescence électrique qui à son tour fait perfectionner le brûleur à incandescence par le gaz. La conséquence immédiate de cette concurrence est une amélioration continue dans l'éclairage général.

Pour étudier le choix à faire entre les diverses sources lumineuses par le gaz et l'électricité, il faut examiner successivement le cas où ces deux modes d'éclairage existent séparément et celui où ils existent simultanément ; on se trouve conduit par suite à voir dans quelles circonstances il convient d'installer la lumière électrique.

Lorsqu'une ville possède le *gaz ou l'électricité* il est facile de déterminer les appareils à employer, surtout si l'on se reporte aux observations faites à chaque groupe de lampes. A l'intérieur des habitations, on doit recourir aux lampes à incandescence par le gaz ou par l'électricité, sauf dans des conditions tout à fait spéciales, comme pour l'éclairage de bureaux, de salles à manger, où il faut remplacer les becs Auer par des brûleurs à flamme en-dessous. Au contraire, pour l'éclairage des grands espaces, et en particulier pour l'éclairage public, on doit employer l'arc voltaïque ou les brûleurs intensifs à fort débit et à flamme verticale, car on a à la fois et l'intensité et l'économie. Les appareils à grand débit sont plus avantageux, leur rendement est plus considérable et leur entretien aussi simple. Actuellement on ne doit pas songer à appliquer l'incandescence à l'éclairage public, de nombreux essais ont montré l'impuissance de ce mode d'éclairage d'un entretien trop difficile (gaz) ou d'un prix trop élevé (électricité).

Si au contraire la ville possède le *gaz et l'électricité* le problème est beaucoup plus complexe, par suite des conditions multiples que l'on rencontre. On peut faire la distinction précédente, c'est-à-dire examiner successivement l'éclairage intérieur ou extérieur.

Dans le premier cas, si la question d'économie prime tout, ce qui est le cas de la généralité des consommateurs, il est certain que les brûleurs à incandescence par le gaz sont préférables. La différence entre le gaz et l'électricité est trop sensible pour avoir la moindre hésitation à ce sujet. Il reste la question de beauté, mais la distinction à faire à ce point de vue entre ces deux modes d'éclairage est un peu subtile. Les uns cherchent dans une installation la qualité de la lumière, les autres au contraire la forme des appareils. Dans le premier cas, la lumière plus blanche des brûleurs Auer permettant la distinction des couleurs peut paraître préférable. Au contraire dans le second, la facilité avec laquelle on peut disposer les lampes à incandescence électriques peut sembler plus avantageuse.

Il ne reste que deux applications où ces dernières lampes sont indispensables, dans les théâtres à cause de la sécurité qu'elles comportent et

dans les salles mal aérées par suite de l'obligation où l'on se trouve de ne pas vicier l'air. Si à ces deux qualités de sécurité et d'hygiène, on ajoute celles de la facilité d'allumage et d'entretien, on comprendra que toutes les fois que la considération importante d'économie ne sera pas mise en cause, on doit se servir de l'éclairage électrique par incandescence.

En ce qui concerne l'éclairage public, c'est à l'électricité qu'il faut recourir. La grande intensité lumineuse de l'arc voltaïque sera difficilement atteinte par celle du gaz, et comme elle ne coûte pas plus cher, on comprend qu'on n'ait pas la moindre hésitation dans le choix. Cette source lumineuse se trouve donc tout indiquée pour l'éclairage de grands espaces, comme dans les usines, les grands magasins, les gares, les ports, etc., en un mot toutes les fois qu'il s'agit d'avoir un travail continu. Si on ajoute qu'avec l'électricité le nombre des foyers se trouve réduit, que l'obligation de changer les crayons équivaut à l'entretien des brûleurs intensifs à gaz ; enfin que l'allumage est plus facile, on admettra aisément la supériorité de l'électricité sur le gaz.

La discussion précédente étant basée sur les conditions actuelles, ne saurait conduire à des conclusions absolues ; elle permet toutefois d'examiner les cas où l'on peut installer la lumière électrique avec des chances de succès. La question n'a pas le même intérêt pour le gaz ; ce mode d'éclairage étant plus ancien a envahi à peu près tous les centres de quelque importance. En dehors des installations particulières des usines où l'on dispose de machines à vapeur ou de turbines pour la marche des dynamos, on peut établir la lumière électrique dans les villes nouvelles, toutes les fois que l'on disposera d'une force motrice naturelle immédiate ou voisine, puisqu'il est possible de transmettre la force. Sauf cette application, il n'y a pas lieu de prévoir l'éclairage électrique, car les motifs qui ont empêché le gaz de s'y développer, s'appliquent également à l'électricité.

Lorsqu'il s'agit pour l'électricité de faire concurrence au gaz, il faut s'assurer d'abord de l'alimentation d'un certain nombre de foyers à arc. L'emploi des lampes à incandescence est, en effet, très aléatoire et devient presque une question de mode comme on l'a vu à Paris. Or, comme l'application de foyers à arc n'est possible que dans les grandes villes, les ports, les centres manufacturiers, il en résulte que l'on ne peut guère installer la lumière électrique que dans ces cas, tout à fait spéciaux. Quant aux autres motifs, en faveur de son installation, basés,

soit sur le prix du gaz soit sur toute autre considération, ils sont moins importants car ils peuvent disparaître tout à coup, et faire d'une entreprise qui paraissait fructueuse au début, le pire des désastres.

La conclusion de tout ce qui précède est que chaque mode d'éclairage a sa raison d'être ; à l'inverse de ce que l'on aurait pu croire, aucune source lumineuse ne saurait résoudre à elle seule d'une manière absolue le problème si complexe de la lumière ; il suffit de regarder autour de soi pour en être persuadé. Il est alors très difficile, sinon impossible, de prévoir le développement ou la disparition subite de l'un quelconque des moyens employés. Il n'y a qu'un fait qu'on puisse affirmer, c'est la progression constante de l'éclairage en général, pour s'en convaincre on n'a qu'à considérer les progrès faits jusqu'à ce jour.

Il y a cent ans, l'éclairage public n'existait pas ; l'éclairage des rues à cette époque atteignait à peine quelques fractions de bougie-mètre. Il en était de même de celui de l'intérieur des habitations, En 1743, la Salle des Glaces du Palais de Versailles était éclairée, les jours de fête, par 1.800 bougies ; en 1878, ce nombre atteignait 8.000 bougies, il serait actuellement insuffisant. L'éclairage des rues, qui vaut une bougie-mètre, dans les endroits moyennement éclairés, s'élève à 30 et 35 bougie-mètres en quelques points (carreau des Halles) ; mais il faut observer toutefois que la plupart des rues de la capitale, et à plus forte raison celles des villes de province, sont loin d'avoir un si bel éclairage.

Lors même qu'on dépasserait ce chiffre, on serait encore très éioigné de la lumière solaire. L'intensité des sources lumineuses les plus considérables est encore fort au-dessous de celle de cet astre puissant,

La lumière solaire, à midi, vaut 62.280 bougies (d'après Bouguer, 1729) ; et 59.880 bougies (d'après Wollaston, 1779),

Une lampe à arc de 50 ampères ne dépasse pas 5.000 bougies. Il est vrai qu'à la distance énorme qui nous sépare du soleil, l'intensité lumineuse de ce dernier est de beaucoup diminué et l'éclairage obtenu est sensiblement le même que celui de l'arc voltaïque.

M. de Nerville a établi du reste la valeur de cet éclairage dans diverses conditions et à différentes heures du jour :

A 3 heures du soir, par un temps très beau, il atteint	200	bougie-mètres
3 — soleil voilé par les nuages. . . . .	75	»
5 — temps très beau . . . . .	75	»
5 — soleil voilé par les nuages . . . . .	57	»
3 — temps sombre . . . . .	40	»
5 — temps sombre . . . . .	24	»

Or, d'après ce même physicien, l'éclairage fourni par une lampe de 50 ampères dans certaines conditions (représentation de *Jeanne d'Arc* à l'Hippodrome) a atteint 130 bougie-mètres. Ce chiffre exceptionnel est encore loin d'être appliqué à l'éclairage en général, mais il montre tout au moins qu'il n'est pas impossible d'atteindre la lumière du jour. En tout cas, il est déjà bien supérieur à celui de l'éclairage de la lune, qui n'est que de 0,3 bougie-mètre.

Mais, pour arriver à ce résultat, des progrès importants restent encore à faire; non seulement il faut multiplier l'intensité des foyers et leur nombre, mais encore améliorer le rendement des diverses sources lumineuses, car dans les meilleures conditions il ne dépasse pas 10 %. On voit que la question de l'éclairage est loin d'avoir dit son dernier mot et qu'il lui reste autant de chemin à faire, qu'elle en a déjà parcouru.



# TABLE DES MATIÈRES

## PREMIÈRE PARTIE. — Huile,

	Pages
I. — Lampes à alimentation automatique . . . . .	1
II. — Lampes mécaniques. . . . .	12
III. — Organes des lampes. . . . .	19
IV. — Fabrication. . . . .	24

## DEUXIÈME PARTIE. — Pétrole.

I. — Traitement des huiles minérales . . . . .	31
II. — Eclairage aux huiles légères . . . . .	49
III. — Eclairage au pétrole. . . . .	54
IV. — Eclairage aux huiles lourdes . . . . .	67

## TROISIÈME PARTIE. — Gaz.

I. — Historique . . . . .	73
II. — Fabrication du gaz d'éclairage. . . . .	82
1 <sup>o</sup> Gaz . . . . .	82
2 <sup>o</sup> <i>Sous-produits</i> . . . . .	94
III. — Distribution du gaz . . . . .	97
IV. — Brûleurs. . . . .	115
1 <sup>o</sup> <i>Brûleurs ordinaires à air libre</i> . . . . .	117
2 <sup>o</sup> <i>Becs intensifs à air libre</i> . . . . .	126
3 <sup>o</sup> <i>Brûleurs à air chaud</i> . . . . .	128
4 <sup>o</sup> <i>Becs à incandescence</i> . . . . .	151
5 <sup>o</sup> <i>Becs à gaz carburé</i> . . . . .	158
6 <sup>o</sup> <i>Appareils de réglage. — Allumage</i> . . . . .	159
V. — Gaz spéciaux. . . . .	164

## QUATRIÈME PARTIE. — Electricité.

I. — Historique . . . . .	181
II. — Unités électriques . . . . .	193
III. — Piles . . . . .	197
1 <sup>o</sup> <i>Piles hydro-électriques</i> . . . . .	197
2 <sup>o</sup> <i>Piles thermo-électriques.</i> . . . .	203
IV. — Machines électriques . . . . .	206
1 <sup>o</sup> <i>Phénomènes d'induction</i> . . . . .	205
2 <sup>o</sup> <i>Machines à courants continus.</i> . . . .	216
3 <sup>o</sup> — — <i>alternatifs</i> . . . . .	234
V. — Transformation de l'énergie électrique . . . . .	244
1 <sup>o</sup> <i>Accumulateurs</i> . . . . .	244
2 <sup>o</sup> <i>Transformateurs</i> . . . . .	249

	Pages
VI. — Distribution du courant électrique . . . . .	254
1° <i>Canalisation</i> . . . . .	254
2° <i>Divers modes de distribution</i> . . . . .	261
VII. — Lampes à arc . . . . .	271
1° <i>Arc voltaïque</i> . . . . .	271
2° <i>Régulateurs en série</i> . . . . .	278
3° — <i>en dérivation</i> . . . . .	286
4° — <i>différentiels</i> . . . . .	290
5° <i>Organes des lampes à arc</i> . . . . .	309
6° <i>Bougies électriques</i> . . . . .	318
7° <i>Lampes diverses</i> . . . . .	322
VIII. — Lampes à incandescence . . . . .	326
1° <i>Lampes à incandescence dans l'air</i> . . . . .	327
2° — — <i>dans le vide</i> . . . . .	330
IX. — Appareils complémentaires . . . . .	345
1° <i>Instruments de mesure</i> . . . . .	345
2° <i>Appareils de communication</i> . . . . .	358
3° <i>Appareils de réglage et de sûreté</i> . . . . .	362
4° <i>Tableaux de distribution. — Mise en marche</i> . . . . .	367

CINQUIÈME PARTIE. — **Comparaison.**

I. — Propriétés de la lumière . . . . .	371
II. — Application des diverses sources lumineuses. . . . .	390