

Section de l'Ingénieur

J. LEFÈVRE

ÉCLAIRAGE

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

MASSON ET C^{ie}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alain-Abadie.	Gossot (Comm ^t).	Minel (P.).
Alheilig.	Gouilly.	Minet (Ad.).
Armengaud jeune.	Grimaux.	Moëssard (C ^t).
Arnaud.	Grouvelle (Jules).	Moissan.
Bassot (Colonel).	Guenez.	Moissenet.
Baume-Pluvinel(dela).	Guillaume (Ch.-Ed.).	Monnier.
Bérard (A.).	Guye (Ph.-A.);	Moreau (Aug.).
Bergeron (J.).	Guyou (Comm ^t).	Niewenglowski (G. H.).
Berthelot.	Hatt.	Naudin (Laurent).
Bertin.	Hébert.	Ouvrard.
Biglia.	Hennebert (C ^t).	Perrin.
Billy (Ed. de).	Hérisson.	Perrotin.
Bloch (Fr.).	Hospitalier (E.).	Picou (R.-V.).
Blondel.	Hubert (H.).	Poulet (J.).
Boire (Em.).	Hutin.	Prud'homme.
Boucheron (H.).	Jacométy.	Rateau.
Bourlet.	Jacquet (Louis).	Resal (J.).
Candlot.	Jean (Ferdinand).	Ricaud.
Caspari.	Launay (de).	Rocques (X).
Charpy (G.).	Laurent (H.).	Rocques-Desvallées.
Clugnet.	Laurent (Th.).	Rouché.
Croneau.	Lavergne (Gérard).	Sarrau.
Damour.	Léauté (H.).	Sauvage.
Dariès.	Le Chatelier (H.).	Schloësing fils (Th.).
Defforges (Comm ^t).	Lecomte.	Schützenberger.
Delafond.	Leloutre.	Seguela.
Drzewiecki.	Lenicque.	Seyrig (T.).
Dudebout.	Le Verrier.	Sidersky.
Duquesnay.	Lindet (L.).	Sinigaglia.
Durin.	Lippmann (G.).	Sorel (E.).
Dwelshauvers-Dery.	Lumière (A.).	Trillat.
Fabre (Ch.).	Lumière (L.).	Urbain.
Fourment.	Madamet (A.).	Vallier (Comm ^t).
Fribourg (Comm ^t).	Magnier de la Source.	Vermand.
Frouin.	Marchena (de).	Viaris (de).
Garnier.	Margerie.	Vivet (L.).
Gassaud.	Matignon.	Wallon (E.).
Gautier (Henri).	Meyer (Ernest).	Widmann.
Godard.	Michel-Lévy.	Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉS

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

LEFÈVRE — L'Éclairage électrique

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,
169, boulevard Malesherbes, Paris.*

N° 174 A

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

L'ÉCLAIRAGE

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

PAR

J. LEFÈVRE

Professeur à l'École des Sciences
et à l'École de médecine de Nantes

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,	MASSON ET C ^{ie} , ÉDITEURS,
IMPRIMEURS-ÉDITEUR	LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55,	Boulevard Saint-Germain, 120,
(Tous droits réservés)	

*DU MÊME AUTEUR
ET DANS LA MÊME COLLECTION*

- I. La Spectroscopie.**
- II. La Spectrométrie.**
- III. L'Éclairage : Éclairage électrique.**
- IV. L'Éclairage : Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras, etc.**

PREFACE

L'arc voltaïque, découvert par Davy au commencement du siècle, excita aussitôt une vive curiosité : l'expérience, répétée souvent dans les fêtes, obtenait toujours un égal succès, mais il ne pouvait être question d'appliquer à l'éclairage public ou privé cette nouvelle source de lumière, car on effectuait à la main le réglage des charbons et on était obligé de produire l'électricité avec une pile d'un grand nombre d'éléments. Bien que Foucault en France et Staitte en Angleterre eussent fait disparaître le premier inconvénient, en 1848, en imaginant, presque à la même époque, les premiers modèles de régulateurs, il restait encore la seconde difficulté. Ce fut seulement beaucoup plus tard, après la découverte de la machine de Gramme, qu'eurent lieu, en 1878, à Paris, sur l'avenue de l'Opéra et la place du Théâtre-Français, les

premières tentatives d'éclairage public au moyen des bougies Jablochkoff ; en 1881, les régulateurs Lontin furent mis en service sur la place du Carrousel et dans la cour du Louvre. A la même époque, la première exposition d'électricité appelait l'attention sur le système d'incandescence Edison et donnait à l'éclairage électrique une impulsion qui ne s'est pas ralentie depuis cette époque.

Seule parmi toutes les lumières artificielles, la lumière électrique ne provient pas d'une combustion. Qu'elle soit produite par l'arc voltaïque ou par l'incandescence d'un filament de charbon, elle n'est due qu'à la température élevée produite par le passage du courant et par la transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique. Elle n'a donc aucun besoin du contact de l'air et peut être obtenue aussi bien dans un gaz inerte ou même dans le vide. Ce mode particulier de production lui assure des propriétés spéciales, qui la font souvent préférer aux autres modes d'éclairage, même lorsque son prix de revient est plus élevé.

Le développement de l'éclairage électrique a eu d'ailleurs les plus heureux effets ; en même temps qu'il nous procurait une nouvelle source de lumière, d'un éclat incomparable, il suscitait

aux procédés anciens une concurrence redoutable, qui les obligeait à chercher de nouveaux perfectionnements : c'est ce qui a amené la création des becs de gaz intensifs.

Nous nous proposons de résumer dans cet Aide-Mémoire les principes de l'éclairage électrique : production de l'électricité, distribution, utilisation dans les lampes.

Il faut remarquer que, si la fabrication du gaz, depuis longtemps prospère, est arrivée à une perfection au moins relative et ne progresse plus depuis un certain temps, il n'en est pas de même de l'industrie électrique, beaucoup plus récente : aussi, tandis que les usines à gaz emploient des procédés et des appareils à peu près identiques, on observe la plus grande variété dans la production et la distribution de l'éclairage électrique : nous avons donc dû, pour cette raison, nous borner à la description des méthodes et des dispositifs les plus importants, et nous avons laissé de côté ou décrit très sommairement les appareils de production et d'utilisation qui sont à peu près hors d'usage, au moins pour les applications qui nous occupent, comme les piles et les lampes à incandescence à l'air libre. Pour chaque partie de notre sujet, nous nous sommes attaché surtout à rappeler

les points principaux de la théorie et nous avons dû, vu le grand nombre des appareils actuellement en usage, nous contenter d'en choisir seulement, dans chaque cas, un ou deux comme exemples.

J. L.

CHAPITRE PREMIER

PRODUCTION DES COURANTS CONTINUS

1. Production de l'électricité. — On peut obtenir un courant électrique, soit avec des piles, soit avec des machines. Depuis que les stations centrales se sont répandues, les piles ne sont plus guère appliquées à la production de la lumière électrique ; nous n'en décrirons donc qu'un très petit nombre.

Quant aux machines, elles peuvent se diviser en machines magnéto-électriques et dynamo-électriques, suivant que le champ est produit par un aimant permanent ou par un électro-aimant.

Nous nous occuperons seulement des machines dynamo-électriques, qui sont à peu près seules employées maintenant pour la lumière.

2. Piles électriques. — Les piles employées aujourd'hui contiennent un liquide exciteur, dans lequel plongent deux lames solides ou *électrodes*, de nature différente, dont l'une (*pôle négatif*) est attaquée par ce liquide; la production d'électricité est corrélative de cette action chimique. Pour éviter le dépôt d'hydrogène, qui se formerait sur l'électrode non attaquée (*pôle positif*) et qui diminuerait fortement l'intensité du courant (*polarisation*), on introduit entre cette lame et le liquide un corps oxydant ou dépolarisant, capable d'absorber l'oxygène. Ce dépolarisant peut être liquide ou solide; il peut être mélangé au liquide exciteur ou en être séparé par une cloison poreuse.

3. Pile de Bunsen. — Dans la pile de Bunsen (*fig. 1*), un vase de grès renferme le liquide exciteur, eau acidulée par un peu d'acide sulfurique, et l'électrode négative, formée d'un cylindre de zinc fendu dans toute sa hauteur. Au centre est un vase poreux, qui contient un prisme de charbon, représentant le pôle positif, et le dépolarisant, qui est de l'acide nitrique. Sous l'action du courant, l'acide azotique donne du peroxyde d'azote et de l'oxygène, qui se recombine avec l'hydrogène pour former de l'eau.

Lorsque les zincs sont bien amalgamés, cette pile peut rester constante plusieurs heures; elle a une grande force électromotrice et une résistance assez faible, mais elle a l'inconvénient d'émettre des vapeurs de peroxyde d'azote, d'une

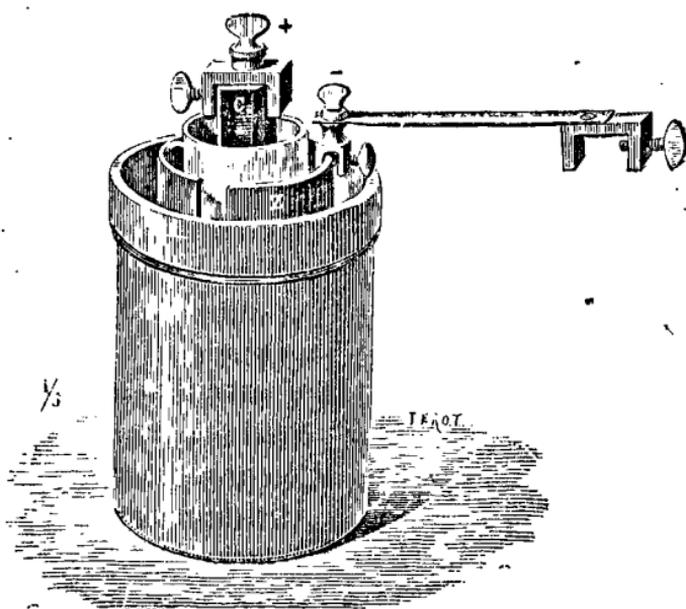


Fig. 1. — Pile de Bunsen.

odeur suffocante, ce qui oblige à l'installer dans un local spécial. En prenant cette précaution, elle peut être employée pour l'éclairage. C'est, du reste, la pile de Bunsen qui était utilisée à l'Opéra pour les effets de scène avant l'installation des machines électriques.

4. Pile au bichromaté de potasse.— Dans la pile dite à bichromate, le dépolarisant (bichromate de potasse) est mélangé avec le liquide excitateur, eau acidulée. Pour la monter, on fait une solution concentrée de bichromate de potasse et l'on y ajoute un peu d'acide sulfurique. Le pôle négatif est une lame de zinc ; le pôle positif est constitué par deux plaques de charbon, placées de part et d'autre du zinc et réunies par une lame de laiton.

Le bichromate donne de l'alun de chrome et de l'oxygène, qui s'unit à l'hydrogène.

Ordinairement, pour éviter qu'elle ne s'use à circuit ouvert, on souleve, soit les zincs seuls, soit l'ensemble des zincs et des charbons hors du liquide pendant qu'on ne s'en sert pas. On emploie souvent la forme bouteille (fig. 2) :

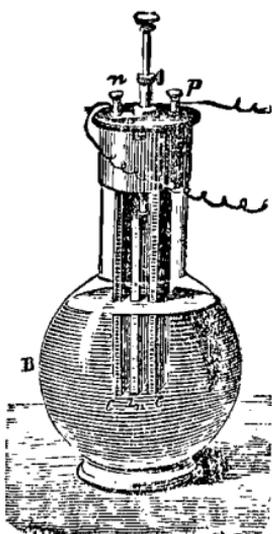


Fig. 2. — Pile bouteille

renfermé dans un vase de verre hermétiquement fermé par un couvercle d'ébonite ; les charbons sont fixes ; le zinc peut être plongé

dans le liquide ou soulevé au dehors au moyen d'une tige de laiton ; les bornes *n* et *p* représentent les deux pôles.

Dans un autre modèle, le liquide est placé dans des vases cylindriques en grès ; les éléments

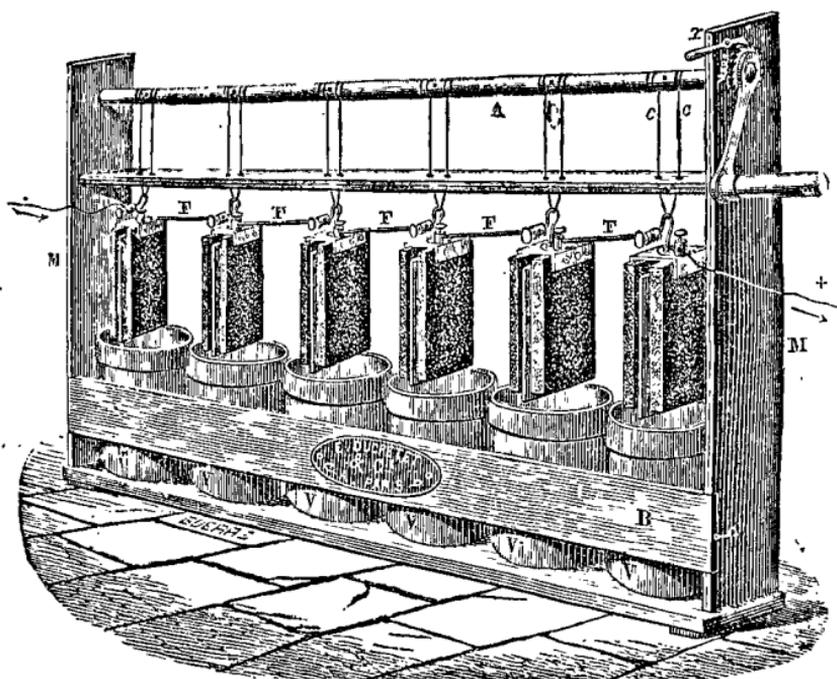


Fig. 3. — Pile à treuil.

solides sont fixés à une planchette suspendue à deux cordes qui s'enroulent sur un treuil ; on les fait monter ou descendre en tournant dans un sens ou dans l'autre (*fig. 3*).

Ce dernier modèle est à grand débit; il peut être employé pour de petites installations d'éclairage électrique; mais le prix de revient de l'électricité est fort élevé.

5. Pile de Lalande et Chaperon.— La pile de Lalande et Chaperon utilise comme dépo-

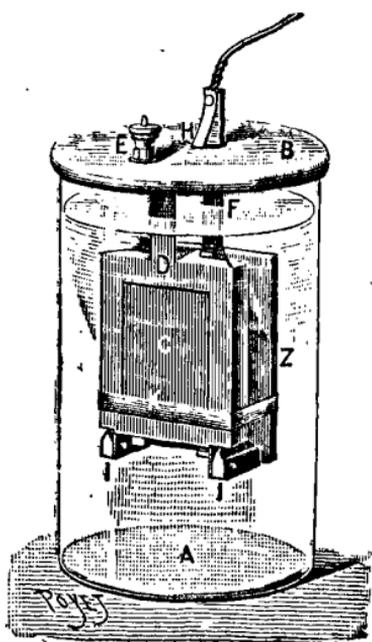


Fig. 4. — Pile de Lalande et Chaperon.

cet oxyde est aggloméré sous forme de plaques, telles que G; l'électrode positive est une lame de tôle découpée D, cuivrée à la surface et repliée

larisant l'oxyde noir de cuivre, qui est solide et qu'on place au contact du pôle positif. L'électrode négative est une lame de zinc et le liquide une dissolution de potasse caustique à 30 ou 40 degrés.

Dans les modèles les plus récents (fig. 4),

de manière à présenter un logement où se met l'aggloméré, qui est maintenu en place au moyen de deux clavettes-ressorts en cuivre laminé. La lame D est fixée sur le couvercle de faïence B par une vis et un écrou surmonté d'un bouton moleté E.

Le zinc Z, de forme rectangulaire, est rivé sur une lame métallique F, portant à sa partie supérieure un ressort d'acier H et un fil conducteur en cuivre. Pour mettre le zinc en place, l'aggloméré étant déjà fixé, on introduit l'extrémité du fil dans l'ouverture rectangulaire du couvercle, puis la lame F, qu'on pousse verticalement jusqu'à ce que, le ressort ayant fléchi, son extrémité dépasse l'ouverture et vienne reposer sur la surface du couvercle. Deux pièces d'ébonite I I, rivées sur la lame D, servent à maintenir le zinc et l'oxyde de cuivre à la distance convenable; un bracelet de caoutchouc K assure la position des deux électrodes.

Dans les éléments de plus grandes dimensions, il y a trois zincs et deux agglomérés; les plaques de même espèce sont réunies en quantité. On fait aussi des modèles hermétiques, dont l'enveloppe est une bouteille de fer tenant lieu d'électrode positive. Cette pile présente de bonnes qualités; elle ne s'use pas à circuit ou-

vert ; on ne peut lui reprocher que la faiblesse de sa force électromotrice, 0,85 volt.

6. Piles à écoulement. — Certains modèles de piles ont été disposés de manière à supprimer la nécessité de monter chaque jour les éléments à nouveau. Les liquides circulent dans tous les éléments et s'écoulent ensuite au dehors. Ce système, peu économique, a été appliqué à la pile de Daniell, à la pile au bichromate, etc.

7. Dynamos à courants continus. — Les machines dynamo-électriques peuvent elles-mêmes produire deux sortes de courants, des courants continus et des courants alternatifs. Les machines du premier type se composent essentiellement de trois parties : l'inducteur, l'induit et le collecteur.

Dans la machine de Gramme, que nous prendrons pour exemple, l'induit a la forme d'un anneau ⁽¹⁾, qui tourne entre les pièces polaires NS de l'inducteur (*fig. 5*), constitué par un fort électro-aimant. Ces pièces polaires sont évidées, de manière à restreindre autant que possible

(1) Cet anneau est formé de cercles en fil de fer isolés, afin d'éviter les courants de Foucault.

l'espace, appelé *entrefer*, qui les sépare de l'induit.

Si l'anneau était enlevé, le champ magnétique entre les pièces polaires serait sensiblement uniforme ; lorsqu'il est en place, le flux

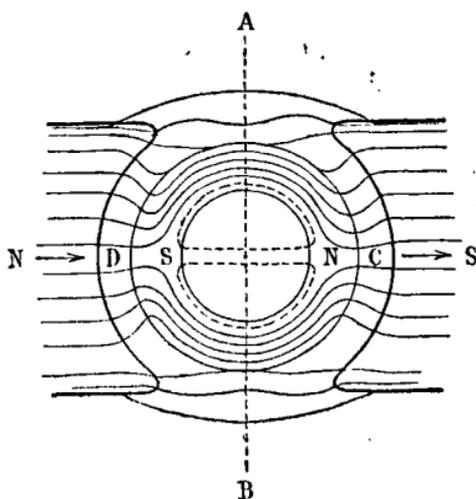


Fig. 5. — Principe de la machine de Gramme.

se dévie pour suivre l'intérieur de cet organe, qui est plus perméable, et se divise en deux moitiés, symétriques par rapport à la droite NS ; la plupart des lignes de force passent donc dans l'anneau et un très petit nombre seulement dans la pièce de bois qui occupe l'intérieur ; c'est cette disposition du champ que montre la *fig. 5*.

Supposons que l'anneau reste immobile et qu'on place sur lui un petit morceau de fil de cuivre formant une seule spire ; faisons enfin exécuter à cette boucle un tour entier dans le sens des aiguilles d'une montre, en partant de D. Dans cette rotation, le flux d'induction qui traverse la boucle, et qui est nul en D, augmente jusqu'en A, où il est maximum ; il décroît ensuite jusqu'en C, où il s'annule, et redevient maximum en B ; en outre, il change de sens en C et en D : le flux variant d'une façon continue, la boucle est, pendant toute sa rotation, le siège d'une force électromotrice d'induction. D'après la règle du tire-bouchon ⁽¹⁾, le sens du courant est négatif dans le premier quadrant, positif dans le second, négatif dans le troisième et positif dans le quatrième. Cependant, le flux changeant lui-même de sens en C et en D, le courant induit ne change pas de sens en ces deux points, mais seulement en A et B, sur la perpendiculaire à la ligne des pôles. La *fig. 6* montre le sens du courant dans la spire S pour quatre positions A, B, C, D, intermédiaires entre les positions principales.

(1) On sait que, d'après cette règle, le sens positif est le sens de rotation d'un tire-bouchon qui tournerait en s'avancant suivant les lignes d'induction.

En réalité, l'anneau n'est pas immobile ; il tourne d'un mouvement uniforme ; mais cela ne

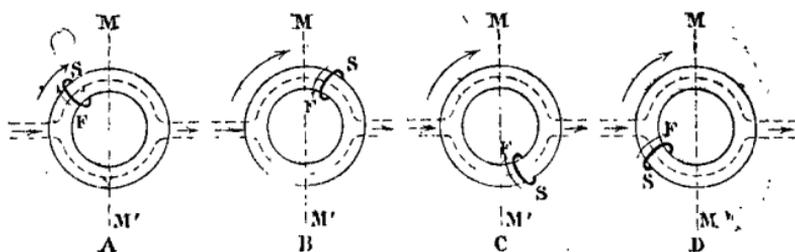


Fig. 6. — Sens du courant induit.

change rien au raisonnement, car le champ conserve une forme invariable. De plus, au lieu d'une spire unique, cet anneau porte un fil qui le recouvre complètement et constitue un circuit fermé. On voit

que, à un moment quelconque, toutes les spires situées à gauche de la ligne MM' sont le siège de courants induits ;

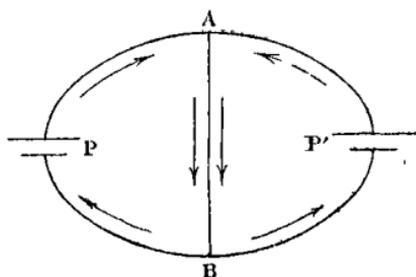


Fig. 7. — Principe du collecteur.

qui, dans la partie antérieure de chaque spire, sont tous centrifuges et par conséquent s'ajoutent (*fig. 6*). Au contraire, les spires situées à droite de MM' engendrent des courants qui sont centripètes

dans la partie antérieure des spires et par conséquent opposés aux premiers. Les deux moitiés de l'anneau sont donc comparables, à chaque instant, à deux éléments de piles PP' montés *en opposition* (*fig. 7*), et par suite les courants s'annuleraient sans cesse.

Pour recueillir ces courants et les utiliser dans un circuit extérieur, on fixe les deux extrémités de ce circuit sur la ligne MM' ; les courants engendrés dans les deux moitiés de l'anneau s'ajoutent dans ce circuit, représenté sur la *fig. 7* par la droite AB . C'est là le rôle du *collecteur*.

8. Collecteur.— Le fil qui recouvre l'anneau, tout en formant un circuit fermé, est divisé en un certain nombre de bobines. Sur l'axe de l'anneau est placé un cylindre isolant, qui tourne avec lui, et qui est muni d'une enveloppe métallique, divisée, suivant des génératrices, en autant de touches séparées qu'il y a de bobines. A chaque touche aboutissent la fin d'une bobine et le commencement de la bobine suivante. Deux balais horizontaux, en métal ou en charbon, frottent sur le collecteur, suivant le diamètre vertical, et recueillent le courant.

9. Force électromotrice d'une machine.

— Calculons d'abord la force électromotrice moyenne induite dans une spire pendant sa rotation. Soit Q le flux total utile, c'est-à-dire celui qui pénètre dans l'anneau ; nous avons vu qu'il se divise en deux parties égales, soit $\frac{Q}{2}$. Donc, en un quart de tour, le flux qui traverse la spire S (*fig. 6*) varie de 0 à $\frac{Q}{2}$. Si l'anneau fait n tours par seconde, la durée d'un quart de tour est $\frac{1}{4n}$ et la force électromotrice moyenne est, en volts,

$$e = \frac{Q}{2} \times \frac{1}{\frac{1}{4n} \times 10^8} = \frac{2nQ}{10^8}.$$

Supposons maintenant qu'il y ait N spires enroulées sur l'anneau, ou $\frac{N}{2}$ sur chaque moitié ; les deux moitiés étant assemblées en quantité, la force électromotrice totale E est égale à celle qui prend naissance dans une des moitiés ; or, celle-ci est égale à $\frac{N}{2}e$. On a donc

$$E = \frac{NnQ}{10^8}.$$

Cette force électromotrice est donc propor-

tionnelle au nombre des spires, à la vitesse de rotation et au flux utile.

10. Variations du courant. — Grâce à la disposition du collecteur, le courant qui traverse le circuit extérieur AB (*fig. 7*) est continu, mais il n'est pas absolument constant. Chaque balai se trouve en contact, pendant la rotation, tantôt avec une seule touche du collecteur, tantôt avec deux touches consécutives ; dans ce dernier cas, une des bobines est mise en court circuit. Il se produit donc des variations périodiques de la résistance et par conséquent de l'intensité. Ces variations sont d'autant plus faibles que le nombre des bobines est plus considérable.

11. Calage des balais. — En réalité, les balais ne se placent jamais exactement suivant la ligne AB (*fig. 5*) ; ils doivent être déplacés d'un certain angle dans le sens de la rotation. En effet, le courant qui circule en sens contraire autour des deux moitiés de l'anneau lui communique une aimantation secondaire ayant pour axe AB (*fig. 8*) et par suite perpendiculaire à l'aimantation principale qui résulte du champ. La superposition de ces deux phénomènes donne

une aimantation résultante dirigée suivant A'B' et d'autant plus inclinée sur la direction primitive du champ que l'intensité est plus grande. Le champ prend ainsi la disposition représentée

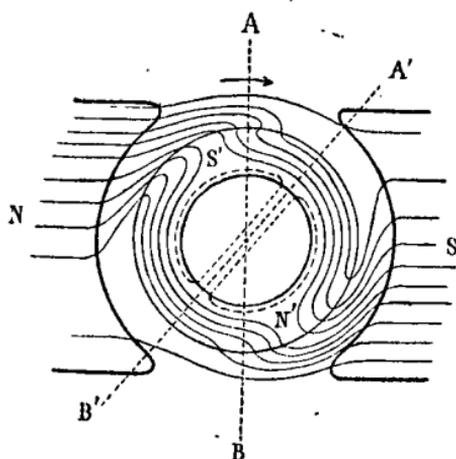


Fig. 8. — Calage des balais.

par la *fig. 8* et la ligne de contact des balais doit être transportée en A'B'. Pratiquement, cette position est déterminée par la suppression des étincelles.

12. Pertes d'énergie. — Le déplacement des balais a pour effet de diminuer la force électromotrice d'induction ; cette diminution constitue la *réaction d'induit*. En outre, la mise en court circuit successive des diverses bobines produit

aussi une perte d'énergie, et les changements de sens du courant dans ces bobines font naître dans les bobines voisines des courants induits qui diminuent aussi la force électromotrice. Pour ces motifs et pour quelques autres, la théorie de l'anneau Gramme est en réalité moins simple que nous ne l'avons supposé précédemment.

13. Diverses formes d'induits. — L'anneau de Gramme est utilisé dans un grand nombre de machines (Gramme, Schückert, Phœnix, Brown, Sperry, etc.).

L'*induit à tambour* ou *induit Siemens* est aussi très employé. Il se compose d'un cylindre plein, en fer doux, sur lequel le fil est enroulé

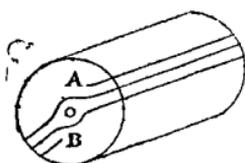


Fig. 9.
Induit à tambour.

parallèlement à l'axe. Ce fil forme, comme dans l'anneau Gramme, un circuit fermé divisé en bobines, dont les extrémités sont reliées avec un collecteur : la *fig. 9* montre une de ces bobines, dont

les extrémités A et B seraient soudées à deux touches successives. Les deux parties de l'induit situées de chaque côté des balais donnent encore des courants qui s'ajoutent en quantité dans le circuit extérieur.

Pour éviter les courants de Foucault, le cylindre de fer doux est divisé comme l'anneau Gramme. L'induit à tambour est appliqué notamment dans les machines Edison, Weston, Thury, Rechniewski, etc.

Les deux formes précédentes d'armatures sont les plus employées ; on peut cependant citer encore les induits sphériques (Thomson-Houston) et les induits à disque (Desroziers).

14. Divers modes d'excitation. — Pour qu'une dynamo fonctionne, il est indispensable d'exciter les inducteurs en lançant un courant dans le fil qui les recouvre. Ce courant peut être obtenu par quatre procédés principaux.

On peut se servir pour cela (*excitation séparée*) d'une petite machine séparée, appelée *excitatrice*.

Cette solution n'est employée que si l'on tient à avoir une grande régularité. En effet, si la réaction d'induit est négligeable, la force électromotrice est sensiblement proportionnelle à la vitesse et indépendante de l'intensité. Dans les autres cas, on ne se sert pas de ce dispositif, à cause de sa complication ; le courant qui traverse l'inducteur est fourni par la machine elle-même, qui est dite *auto-excitatrice*. Le magnétisme

rémanent suffit d'ailleurs à assurer la mise en marche.

Dans une machine auto-excitatrice, l'inducteur peut recevoir tout ou partie du courant produit par l'armature. Dans le premier cas (*excitation en série*), l'inducteur est monté en série avec le circuit extérieur. Le fil des électros doit alors être gros et court, afin de diminuer la perte qui se produit nécessairement sous forme de chaleur.

Ces machines, qui se distinguent par la simplicité de leur construction, présentent quelques inconvénients : ainsi, elles ne peuvent s'amorcer que si la résistance extérieure ne dépasse pas une certaine limite. Pour cette raison, il convient de monter en dérivation les lampes qu'on veut alimenter avec elles.

Dans d'autres machines, l'inducteur se trouve placé en dérivation sur le circuit extérieur (*excitation en dérivation*) et ne reçoit qu'une partie du courant engendré par la machine. Ces dynamos s'amorcent toujours facilement ; en outre, elles sont très faciles à régler : il suffit de placer un rhéostat sur le circuit des inducteurs.

Enfin certaines machines portent un double enroulement, formé d'un gros fil monté en série

et d'un fil fin en dérivation (*excitation compound*). Le courant dérivé peut être remplacé par celui d'une excitatrice, mais cette disposition est rarement employée. L'enroulement en dérivation peut d'ailleurs se trouver placé avant ou après l'enroulement en série; le premier système est dit à *courte dérivation*, le second à *longue dérivation*. Une machine compound participe aux propriétés des deux dérivationes qu'elle possède. Nous indiquerons plus loin les avantages relatifs des divers systèmes d'excitation.

15. Principaux types de dynamos. — Nous avons vu que les dynamos peuvent posséder diverses formes d'induits : elles peuvent différer aussi par la disposition des inducteurs.

La *fig. 10* montre une machine Gramme, du *type supérieur*, c'est-à-dire ayant son armature au-dessus de ses électro-aimants. On voit à gauche le collecteur et les balais, à droite, la poulie par laquelle la machine reçoit le mouvement. C'est une des formes les plus simples et les plus avantageuses de cette machine.

Dans les dynamos du type supérieur, le flux présente toujours une certaine dissymétrie, car les lignes de force, choisissant de préférence le

chemin le moins résistant, seront plus serrées dans la partie inférieure de l'anneau. On doit, comme cela a lieu dans la machine précédente, prolonger vers le haut les pièces polaires, afin d'éviter autant que possible cette dissymétrie,

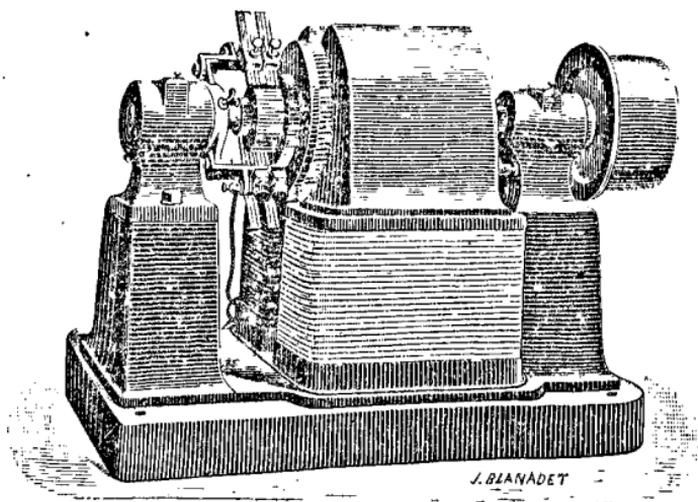


Fig. 10. — Machine de Gramme, type supérieur.

qui augmenterait la pression de l'arbre sur ses paliers et entraînerait une différence dans l'angle de calage des balais.

Dans le type inférieur, où l'anneau est au-dessous des électro-aimants, cette dissymétrie est plutôt avantageuse, car elle diminue les frottements sur les paliers. Si le socle est magnétique, il faut l'isoler de la machine, pour

éviter les pertes de flux. Certains modèles de

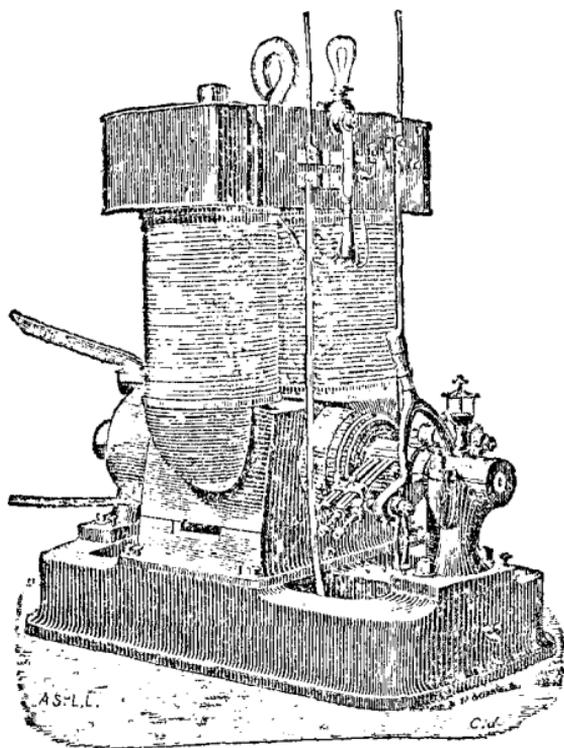


Fig. 11. — Dynamo Edison.

dynamos Edison (*fig. 11*) appartiennent à ce type.

On évite souvent les inconvénients que nous venons de signaler en employant un circuit magnétique double, de façon à obtenir un flux

symétrique. C'est ce qui a lieu dans la machine Gramme, type d'atelier (*fig. 12*), et dans le type

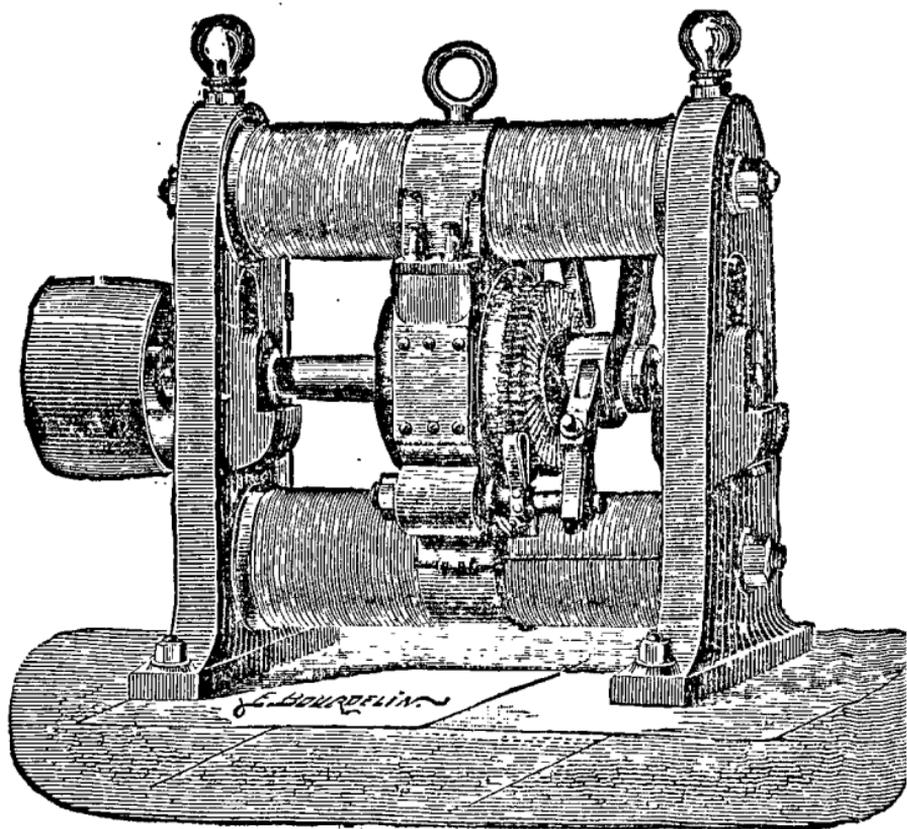


Fig. 12. — Dynamo Gramme, type d'atelier.

Manchester (Edison, Brown, etc.), dont la *fig. 13* montre le principe. Deux électro-aimants A et B ont leurs pôles de même nom juxtaposés et

réunis par des pièces polaires, entre lesquelles tourne l'induit. Des flèches indiquent les deux

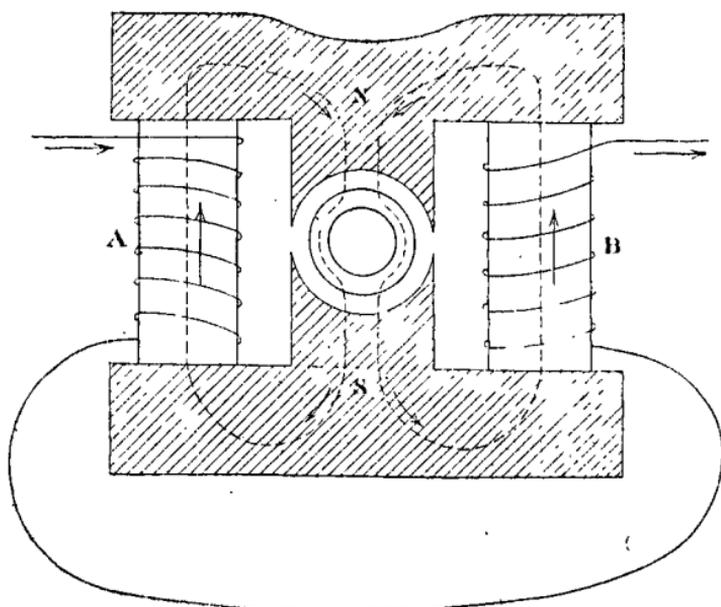


Fig. 13. — Principe des dynamos Manchester.

circuits magnétiques, qui ont une partie commune NS comprenant l'induit.

CHAPITRE II

PRODUCTION DES COURANTS ALTERNATIFS

16. Alternateurs. — Il existe aussi des machines qui produisent des courants alternatifs ; elles conviennent aussi bien que les précédentes pour l'éclairage.

Les alternateurs représentent même, en quelque sorte, la forme normale des dynamos : en effet, les mêmes pièces repassant périodiquement par les mêmes positions, chaque bobine induite traverse alternativement des flux croissants et décroissants et devient chaque fois le siège d'un renversement de courant. C'est seulement grâce à l'emploi du collecteur que, dans la machine de Gramme, le courant devient continu : aussi les alternateurs sont-ils généralement d'une construction plus simple que les machines précé-

dentes, puisque le collecteur se trouve supprimé ou notablement simplifié; ils se composent donc seulement d'un inducteur et d'un induit; ils sont toujours multipolaires. Les bobines induites peuvent renfermer des noyaux de fer doux ou en être dépourvues.

17. Alternateurs à induit muni de noyaux. — Parmi les machines qui appartiennent à cette classe, les unes ont l'inducteur fixe et l'induit mobile; les autres présentent la disposition inverse. Au premier groupe, appartiennent les machines Westinghouse, les machines magnéto-électriques de Méritens, etc.

La *fig. 14* indique le principe de ces machines. Les électro-aimants inducteurs sont disposés en couronne et enroulés de manière à présenter alternativement vers l'intérieur leurs pôles de noms contraires. L'induit constitue une sorte d'anneau Gramme divisé en autant de bobines qu'il y a de pôles inducteurs. Ces bobines sont enroulées alternativement en sens contraire.

Les lignes ponctuées et les petites flèches indiquent le sens du flux, les grandes flèches le sens de la rotation. Pendant un tour, le courant subit, dans chaque bobine, autant de changements de sens qu'il y a de pôles; la règle du tire-

bouchon donne facilement le sens de la force électromotrice à chaque instant. Sur la figure, les bobines sont reliées en série, et les extrémités AB communiquent avec deux bagues sur les-

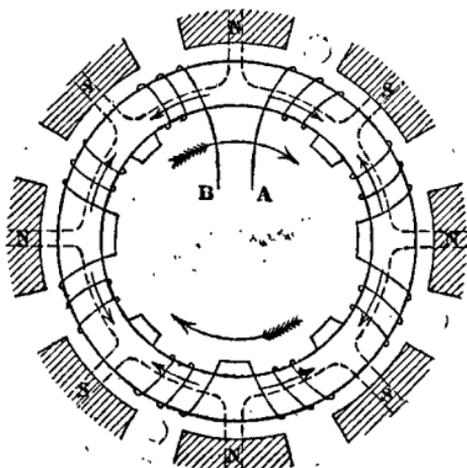


Fig. 14. — Principe des alternateurs à induit muni de noyaux,

quelles frottent les balais. Le montage pourrait se faire aussi en quantité.

Les machines à induit fixe sont plus nombreuses. On peut citer les dynamos Gramme, Zipernowsky, Heisler, Cail-Helmer (à flux renversé), les alternateurs-volants, etc. Nous citerons seulement la machine Gramme (fig. 15), dont l'induit se compose d'un tambour cylindrique en fils de fer doux, recouvert d'un fil dont les spires, parallèles aux génératrices, se divisent

en huit bobines, enroulées alternativement en sens contraire. L'inducteur est formé de huit électro-aimants rayonnants, dont les pôles alternent. Lorsque l'électro S remplace l'électro N

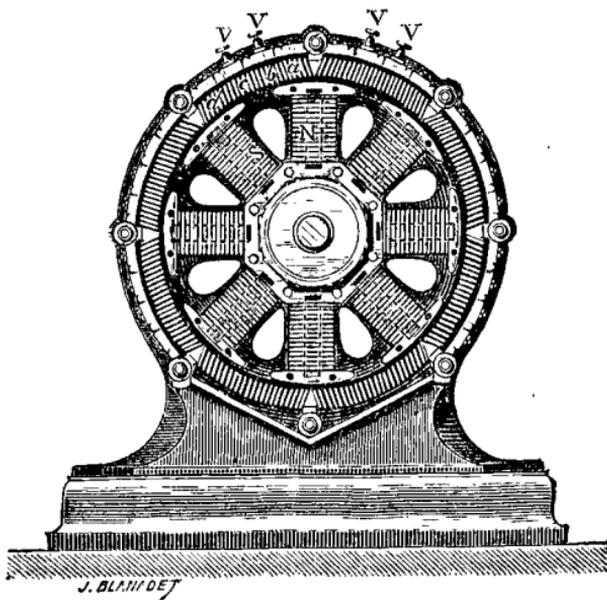


Fig. 15. — Alternateur Gramme.

devant une bobine *abcd*, le flux qui traversait cette bobine change de sens.

Le courant change donc huit fois par tour dans chaque bobine. En outre, les courants qui se produisent au même instant dans deux bobines consécutives sont de sens contraire; mais ils

s'ajoutent grâce au mode d'enroulement. On peut aussi monter les bobines induites en quantité.

18. Alternateurs à induit sans fer. — Cette disposition, qui se rencontre beaucoup plus dans les alternateurs que dans les machines à courants continus, supprime complètement les pertes dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault, qui pourraient devenir importantes dans le cas d'une grande fréquence; mais elle aug-

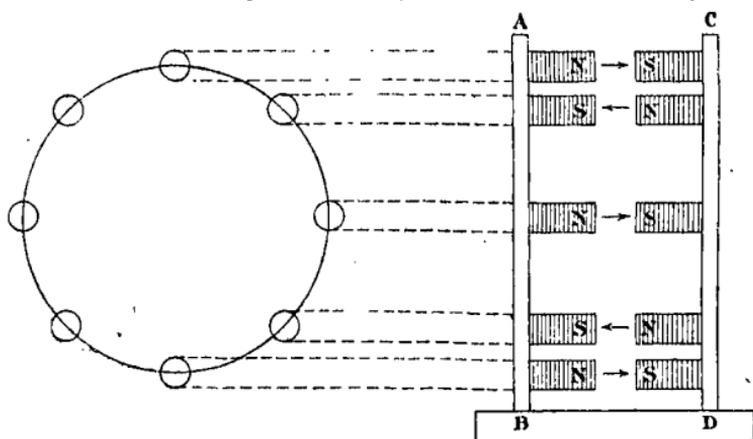


Fig. 16. — Alternateur à induit sans fer (inducteur).

mente l'entrefer et par suite la résistance magnétique.

L'inducteur est fixe et se compose généralement de deux séries de bobines, en nombre pair, disposées régulièrement et en regard sur deux cercles parallèles AB et CD (fig. 16). Les bobines

sont munies de noyaux de fonte ou de fer doux, qui sont généralement venus de fonte avec les flasques AB et CD, servant en même temps à fermer les circuits magnétiques; elles sont enroulées de telle sorte que les pôles alternent et que les deux pôles en regard soient toujours de noms contraires. Le champ subit donc dans l'entrefer, ainsi que le montrent les flèches, des changements de sens alternatifs.

L'induit se compose d'une série de bobines, représentées schématiquement en A, B, C..., H,

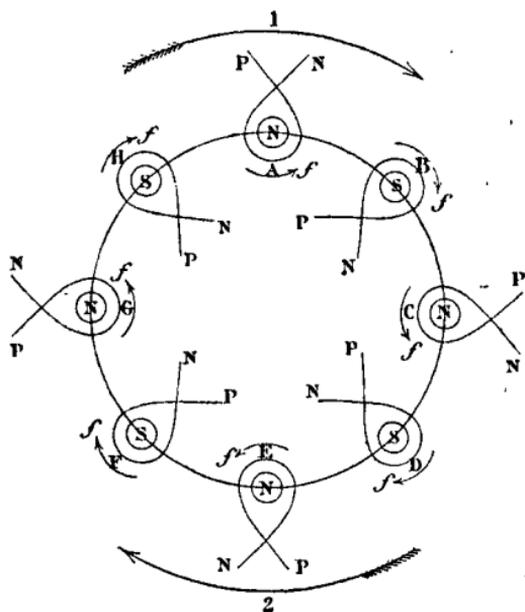


Fig. 17. — Principe des alternateurs à induit sans fer.

(fig. 17), montées sur un disque qui tourne entre

les deux séries de bobines inductrices, dans le sens des flèches 1 et 2.

Les flèches *f* indiquent le sens des courants induits pour la position représentée, sens qui résulte de la règle du tire-bouchon. Les bobines induites peuvent être reliées en série ou en quantité.

L'alternateur Siemens (*fig. 18*), appartient à

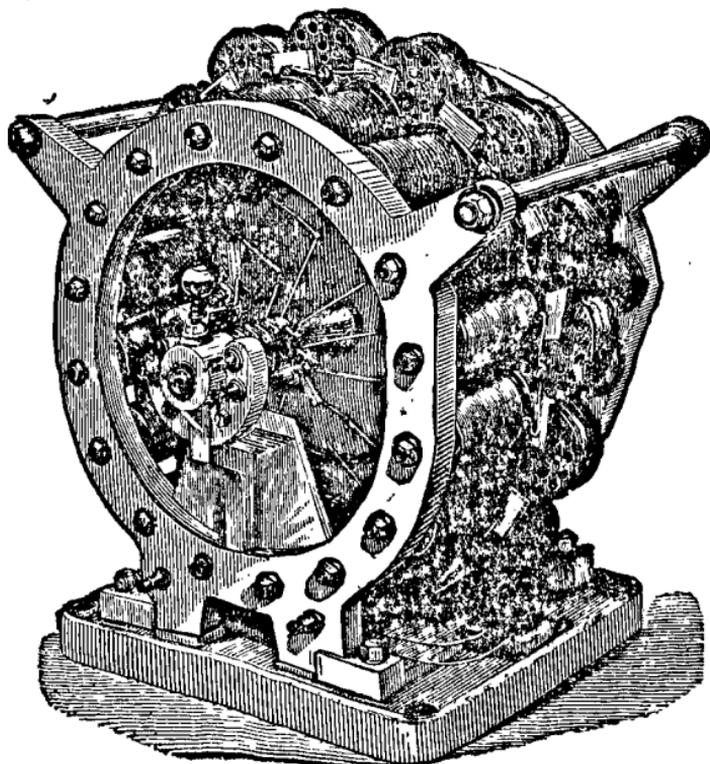


Fig. 18. — Alternateur Siemens.

ce système. L'armature, en forme de disque, est constituée par deux flasques métalliques, maintenues écartées par des entretoises en bois, servant de noyaux aux bobines. Les extrémités du fil induit aboutissent à deux bagues métalliques, calées sur l'arbre, et sur lesquelles frottent deux balais. Les bobines de l'induit peuvent être groupées de manière à donner un courant de tension ou de quantité.

19. Excitation des alternateurs. — Dans ces machines, comme dans les dynamos à courant continu, il faut exciter les électro-aimants des inducteurs; mais on ne peut employer à cet usage le courant alternatif fourni par la machine elle-même. Il faut donc, ou redresser ce courant, ou prendre comme excitatrice une petite dynamo à courant continu. Cette dernière disposition est souvent employée; elle est très avantageuse au point de vue de la régulation; si cette machine est elle-même montée en dérivation, un rhéostat suffit pour régler le courant de l'excitatrice et par suite la force électromotrice de l'alternateur. L'alternateur Siemens, décrit plus haut, est ainsi excité par une dynamo à courant continu du même constructeur. La machine Zipernowsky est excitée par une dynamo Ganz à courant continu.

Dans certaines machines, improprement appelées auto-excitatrices, l'excitatrice à courant continu fait corps avec l'alternateur et les parties mobiles des deux machines sont montées sur le même arbre (alternateur Gramme).

Enfin, on peut redresser une partie du courant produit par l'alternateur lui-même pour l'envoyer dans les électros. On se sert pour cela d'un commutateur, qui peut être formé d'un cylindre isolant portant autant de lames métalliques qu'il y a d'électro-aimants et tournant avec la partie mobile de la machine : deux ressorts frottant sur deux lames consécutives recueillent des courants redressés, si le commutateur est convenablement orienté.

20. Couplage des alternateurs. — On est parfois obligé d'accoupler ensemble deux ou plusieurs machines à courants alternatifs. Si l'on a deux machines montées sur le même arbre, l'accouplement se fait de lui-même ; mais, s'il n'en est pas ainsi, l'opération est beaucoup plus délicate que pour les dynamos à courant continu, car ici les pôles de la machine changent de nom à chaque instant. Il faut donc d'abord bien connaître le signe des pôles au moment où on les réunit. En outre, il est nécessaire que les deux

machines aient exactement la même période, pour que le mode de couplage adopté se conserve indéfiniment. En réalité, l'on n'a pas à s'inquiéter de cette dernière condition ; pourvu que la première ait été bien remplie, des réactions électriques plus ou moins compliquées interviennent et maintiennent automatiquement le synchronisme, malgré les petites inégalités de vitesse qui se produisent nécessairement. Cependant l'opération réussit mieux avec le couplage en quantité, qui, par suite, est le seul employé dans la pratique.

Pour effectuer cette liaison, il suffit donc de réunir ensemble les pôles des machines au moment précis où ils sont de même signe, et la concordance se maintiendra ensuite d'elle-même. On emploie en général le procédé suivant : on réunit

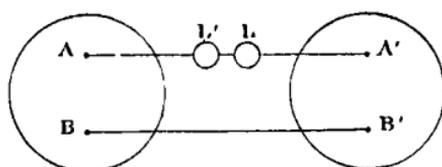


Fig. 19. — Couplage des alternateurs.

les bornes AA' et BB' des machines (fig. 19) par deux conducteurs, sur l'un desquels sont placées en série deux lampes L, L', correspondant au voltage des deux dynamos. Le synchronisme

42 PRODUCTION DES COURANTS ALTERNATIFS

n'étant jamais parfait, on voit les lampes passer par des alternatives d'éclat et d'extinction qui s'expliquent facilement : en effet, lorsque les pôles AA' sont de signes contraires, les machines se trouvent montées en série et possèdent une force électromotrice suffisante pour alimenter les deux lampes ; quand les pôles sont au contraire de même signe, les alternateurs se trouvent en opposition et les lampes s'éteignent. C'est ce moment qu'on choisit pour établir les connexions.

Les courants issus des deux machines se réunissent alors dans le circuit extérieur (*fig. 20*) et,

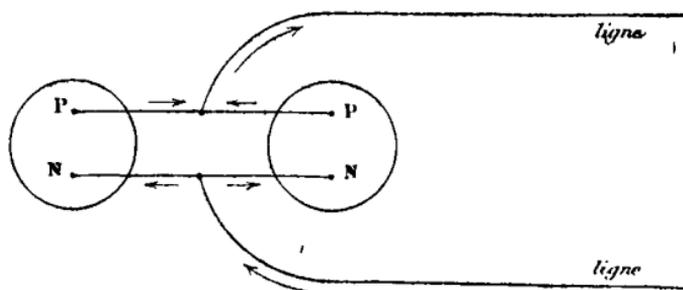


Fig. 20. — Couplage des alternateurs en quantité.

comme nous l'avons dit plus haut, le synchronisme, une fois établi, se maintient de lui-même indéfiniment.

On produit quelquefois aussi le réglage au moyen d'un appareil acoustique.

21. Définitions relatives aux courants alternatifs. — L'intensité d'un courant alternatif variant d'une façon continue en fonction du temps, il n'est pas inutile de rappeler ici les définitions qui se rapportent à ces courants.

Si un courant alternatif traverse un fil de résistance R , ce fil s'échauffe comme il le ferait sous l'action d'un courant continu.

On appelle *intensité efficace* d'un courant alternatif l'intensité que devrait avoir un courant continu pour produire dans le même temps le même dégagement de chaleur. La puissance dépensée sous forme de chaleur est donc encore RI^2 . Si l'on appelle I' l'intensité maxima du courant alternatif, $I = \frac{I'}{\sqrt{2}}$.

Pour définir la différence de potentiel, supposons d'abord que la résistance R soit dépourvue de self-induction. On appelle *différence de potentiel efficace* entre les deux extrémités de cette résistance la quantité E par laquelle il faut multiplier l'intensité efficace pour avoir la puissance rendue disponible entre ces deux points. Cette puissance est donc encore EI . Si E' est la force électromotrice maxima, $E = \frac{E'}{\sqrt{2}}$. Les deux quantités I et E peuvent être mesurées par des am-

pèremètres et des voltmètres spéciaux. Si la résistance R possède de la self-induction, on appelle encore différence de potentiel efficace l'indication donnée par un voltmètre placé en dérivation sur cette résistance.

22. Courants polyphasés. — On emploie beaucoup dans l'industrie, depuis quelques années, des courants alternatifs dits polyphasés. Bien que ces courants soient surtout avantageux pour la transmission de l'énergie, ils peuvent servir aussi pour l'éclairage ; c'est même une de leurs principales qualités de pouvoir être facilement employés aux deux usages à la fois.

Lorsque deux ou plusieurs courants alternatifs passent aux mêmes moments par leurs maxima et par leurs valeurs nulles, on dit qu'ils ont même *période* et même *phase*. Si, tout en gardant la même période, ils passent par ces valeurs à des instants différents, ils sont *décalés* ou *déphasés*. Le nombre des phases différentes à considérer est égal à celui des courants : on a donc des courants *diphases*, *triphases*, etc. Généralement on règle la différence de phase d'une manière symétrique : les courants diphases présentent donc une différence de $\frac{1}{2}$ de période et les courants triphasés de $\frac{1}{3}$.

23. Production des courants polyphasés. — On peut produire des courants diphasés au moyen d'une pile ou d'une machine à courant continu et d'un commutateur spécial, formé de deux commutateurs de Clarke calés sur un même arbre, à 90° l'un de l'autre. Si l'on fait tourner l'appareil, chacun des commutateurs, recevant le courant continu par des ressorts frotteurs, le change en courant alternatif, et la différence de phase est donnée par la distance angulaire de ces commutateurs. Avec trois commutateurs formant des angles égaux, on aurait des courants triphasés.

On peut encore avoir des courants triphasés avec une dynamo à anneau Gramme; il suffit d'installer sur cet anneau trois prises équidistantes *abc*

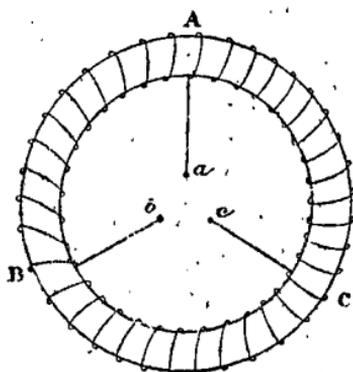


Fig. 21.

Anneau Gramme disposé pour donner des courants triphasés.

(fig. 21). Ces prises sont reliées à trois bagues ⁽¹⁾

(1) Nous démontrons un peu plus loin que trois fils de ligne suffisent pour transmettre les courants triphasés (p. 83).

continues et isolées, fixées sur l'arbre de l'induit; trois frotteurs recueillent les courants triphasés.

Le collecteur habituel peut être maintenu, sans changement, sur l'autre extrémité de l'arbre avec ses balais; la même machine donne alors, à volonté, des courants continus ou des courants triphasés.

Le plus souvent, on se sert d'alternateurs dont la partie inductrice est disposée comme pour donner des courants alternatifs ordinaires; mais l'induit, au lieu de porter une seule série de bobines, en possède trois; les bobines de ces trois séries alternent d'ailleurs régulièrement sur toute l'armature. Lorsque les bobines de la première série se trouvent exactement en face des pôles inducteurs, celles de la seconde en sont distantes d'un tiers et celle de la troisième de deux tiers d'intervalle de pôle. On conçoit que ces trois séries de bobines soient à chaque instant le siège de forces électromotrices décalées l'une par rapport à l'autre d'un tiers de période.

Dans cette disposition, on a en quelque sorte trois alternateurs ayant l'inducteur commun et trois induits distincts calés sur le même axe, à des distances angulaires égales,

Ce système est employé dans la dynamo Siemens et Halske : l'induit est fixe ; l'inducteur est mobile et monté sur le même arbre que l'excitatrice. Cette machine est en service à l'usine d'Erding.

On pourrait employer aussi trois alternateurs complètement distincts ; ce système, un peu compliqué, n'a pas été utilisé jusqu'à présent, à notre connaissance, pour les courants triphasés, mais il est appliqué pour la production des courants diphasés par la maison Schneider et C^{ie} (alternateur Zipernowsky) et par la société Westinghouse.

On conserve ainsi les avantages inhérents à la construction de l'alternateur simple, et en particulier les facilités de surveillance et d'entretien, et l'on acquiert la possibilité d'effectuer un réglage parfait dans chaque circuit du système phasé, quelles que soient les variations de charge qui s'y produisent. Il est alors possible d'utiliser les mêmes génératrices et le même réseau pour l'éclairage et pour la transmission de l'énergie.

CHAPITRE III

PROPRIÉTÉS DES MACHINES ÉLECTRIQUES

24. Caractéristique des machines d'induction. — On peut étudier les propriétés des machines d'induction en construisant une courbe qui ait pour abscisses les intensités et pour ordonnées les forces électromotrices correspondantes de la machine, dont la vitesse de rotation est supposée constante; cette courbe, appelée *caractéristique*, indique l'allure de la machine et permet d'en étudier le fonctionnement d'une manière très simple.

25. Machines à excitatrice. — Dans une machine d'induction, la force électromotrice E est proportionnelle, comme nous l'avons vu plus haut, au nombre N des spires de la bobine induite, à la vitesse de rotation n et au flux d'induction Q .

On peut donc écrire, en choisissant convenablement les unités :

$$E = NnQ.$$

D'autre part, l'intensité du courant induit est donnée par

$$E = IR,$$

R étant la résistance totale du circuit.

L'expérience montre cependant que ces formules ne sont pas exactes : si l'on fait varier la vitesse de rotation, la force électromotrice n'est pas proportionnelle à cette vitesse, mais augmente moins vite que ne l'indique la formule ; de plus, si l'on fait varier la résistance R en modifiant le circuit extérieur, les valeurs de l'intensité ne sont pas en raison inverse de cette résistance, ce qui devrait être, puisque la force électromotrice doit être constante, d'après la première formule.

Ces différences peuvent s'expliquer par la réaction du courant induit sur l'inducteur, réaction qui a pour effet de diminuer l'intensité du champ d'autant plus que ce courant est plus intense. Pour tenir compte de cette influence, on peut admettre, comme première approximation, que l'affaiblissement du champ est pro-

proportionnel à l'intensité et remplacer Q par

$$Q' = Q - AI,$$

ce qui donne

$$E = NnQ - ANnI.$$

La courbe qui représente cette équation en prenant les intensités pour abscisses et les forces électromotrices comme ordonnées est la *caractéristique* de la machine ; dans ce cas, c'est une ligne droite qui s'abaisse régulièrement à partir de l'axe des y . Elle représente suffisamment les résultats de l'expérience, car elle est d'accord avec les valeurs trouvées par M. Silvanus Thompson pour une machine magnéto de Gramme (1).

D'autre part, en faisant varier la résistance de manière à maintenir l'intensité constante, M. Joubert a obtenu les résultats suivants :

Nombre de tours par minute.	E en volts	Rapport $\frac{E}{n}$.
500	103	0,206
720	145	0,201
1 070	208	0,194

(1) Les conditions sont, en effet, les mêmes pour une magnéto et pour une dynamo, à excitatrice séparée, car, dans les deux cas, l'intensité du champ est constante.

On voit que, dans ce cas, la force électromotrice est presque proportionnelle à la vitesse.

26. Machines auto-excitatrices. — Les considérations précédentes ne peuvent évidemment pas s'appliquer aux dynamos dans lesquelles le champ magnétique est produit par le courant induit lui-même; la valeur du champ est alors une fonction de l'intensité.

$$Q = f(I).$$

D'ailleurs on a toujours

$$E = NnQ$$

et

$$E = IR.$$

On peut tirer de là, en éliminant E et Q,

$$I = \frac{Nn}{R} f(I),$$

ou

$$\frac{I}{f(I)} = \frac{Nn}{R}.$$

Si l'on connaissait la forme de la fonction $f(I)$, on pourrait résoudre l'équation. Cette forme étant inconnue, supposons, comme première

approximation, qu'on puisse mettre le premier membre sous la forme $A + BI$.

$$\frac{Nn}{R} = A + BI.$$

Les expériences de M. Frölich sur une machine Gramme et sur une machine Siemens et Halske montrent que, entre certaines limites, cette formule est suffisamment exacte.

Remplaçons enfin dans cette équation R par $\frac{E}{I}$; il viendra

$$NnI = E(A + BI)$$

ou

$$BEI - NnI + AE = 0.$$

Si l'on porte l'intensité I en abscisse et E en ordonnée, cette équation représente une hyperbole équilatère AOA' passant par l'origine et ayant ses asymptotes parallèles aux axes et situées l'une à une distance $\frac{Nn}{B}$ au-dessus de l'axe des x , l'autre à une distance $\frac{A}{B}$ à gauche de l'axe des y . La branche de cette courbe comprise dans l'angle xoy a été nommée par M. Marcel Deprez la *caractéristique* de la machine

(fig. 22); il l'obtient expérimentalement en faisant passer dans l'inducteur, séparé du circuit, le courant d'une source distincte dont on fait

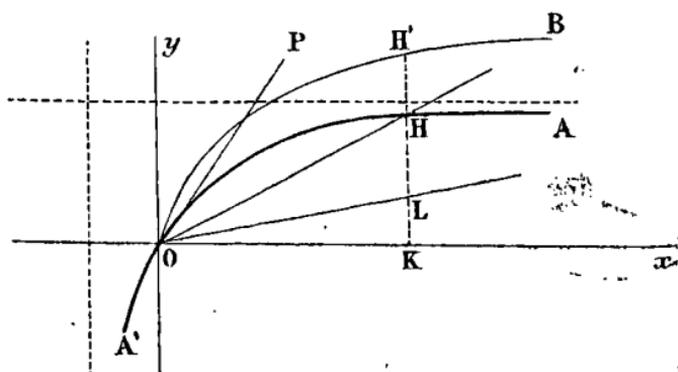


Fig. 22. — Caractéristique d'une machine auto-excitatrice.

varier l'intensité, et déterminant dans chaque cas la force électromotrice correspondante.

27. Influence de la vitesse. — L'étude de cette courbe permet de se rendre compte facilement du fonctionnement de la machine. Ainsi, l'on peut, à l'aide de la caractéristique qui correspond à une vitesse n , obtenir facilement celle qui est relative à une autre vitesse quelconque n' . En effet, l'équation peut s'écrire

$$E = \frac{NnI}{A + BI}.$$

On voit que E est proportionnel à n , toutes choses égales d'ailleurs. Il suffit donc, pour avoir la nouvelle caractéristique, de faire varier toutes les ordonnées dans le rapport $\frac{n'}{n}$, ou de prendre

$$\frac{H'K}{HK} = \frac{n'}{n}.$$

Par conséquent, connaissant la caractéristique pour une vitesse n , on peut trouver ainsi la vitesse n' avec laquelle il faut faire tourner la machine pour obtenir une force électromotrice donnée E' , connaissant soit la résistance totale, soit l'intensité. Si l'on connaît par exemple l'intensité I , on prend $OK = I$ et l'on mesure $HK = E$. L'ordonnée de la caractéristique cherchée doit être E' . On a donc

$$\frac{n'}{n} = \frac{E'}{E}.$$

La vitesse actuelle doit donc être multipliée par $\frac{E'}{E}$. On peut de même chercher la valeur que prend E' pour une vitesse n , ou la valeur qu'il faut donner à I pour avoir une force électromotrice déterminée E' avec une vitesse donnée n' , etc. Enfin, si le circuit contenait une force

contre-électromotrice, il n'y aurait qu'à la retrancher de la force électromotrice.

28. Influence du nombre des spires de l'induit. — On obtiendrait de la même manière la caractéristique qui correspondrait à un autre nombre N' de tours de spires de l'induit, toutes choses égales d'ailleurs.

29. Influence de la résistance. — Joignons maintenant l'origine O à un point quelconque H de la caractéristique. On a

$$\operatorname{tg} KOH = \frac{HK}{OK} = \frac{E}{I} = R.$$

La tangente trigonométrique de l'angle KOH représente donc la résistance totale du circuit, lorsque l'intensité est figurée par la longueur OK . On voit que, si cette résistance va en diminuant, l'intensité augmente d'une façon continue; la force électromotrice croît d'abord très vite, puis devient à peu près constante.

Si l'on augmente au contraire cette résistance, la plus grande valeur pour laquelle on puisse obtenir un courant correspond évidemment à la tangente trigonométrique de l'angle xOP formé par la droite OP , tangente à la courbe au

point O. Si la résistance dépasse cette limite, la machine ne fournit plus de courant. Cependant, en augmentant la vitesse, on peut relever la caractéristique, et, par suite, augmenter la valeur de la limite. On connaît donc ainsi la plus petite vitesse pour laquelle la machine donnera un courant dans un circuit de résistance connue. On nomme *tours morts* les tours effectués par l'induit avant d'avoir atteint cette vitesse.

Si, pendant la marche, la vitesse se ralentit au-dessous de cette limite, la machine est *désamorcée*.

30. Différence de potentiel entre deux points. — La caractéristique permet encore de trouver la différence de potentiel ε qui existe entre deux points quelconques du circuit. Soit, en effet, r la résistance de la partie du circuit limitée par ces deux points et comprenant la machine, et R la résistance totale. On a, d'après les lois d'Ohm,

$$\frac{\varepsilon}{E} = \frac{R - r}{R}.$$

Menons une droite Ox' telle que

$$\text{tg } KOI = r$$

et la droite OH, qui correspond à la résistance totale R, de sorte que l'on ait

$$\operatorname{tg} KOH = R.$$

D'où

$$\frac{r}{R} = \frac{KL}{KH}$$

$$\frac{R - r}{R} = \frac{KH - KL}{KH} = \frac{LH}{KH} = \frac{\varepsilon}{E}.$$

Mais KH = E. Donc LH = ε .

On peut notamment trouver de cette manière la différence de potentiel aux bornes de la machine, en faisant r égale à la résistance même de la machine.

31. Caractéristique externe. — Soient r , la résistance de la machine et Ox' , la droite déterminée par

$$\operatorname{tg} KOL = r.$$

Si, après avoir construit la courbe OH, on la considère comme rapportée aux axes Ox' et Oy , on voit que les ordonnées telles que LH indiqueront, non plus la force électromotrice, mais la différence de potentiel aux bornes. C'est pourquoi cette courbe est alors désignée par M. Sil-

vanus Thompson sous le nom de *caractéristique externe*.

32. Caractéristique d'une machine à double excitation. — Considérons maintenant une dynamo qui reçoit une double excitation, les inducteurs ayant deux fils dont l'un est parcouru par le courant d'intensité i d'une excitatrice indépendante, l'autre étant monté en série sur la machine elle-même.

Soient R , la résistance extérieure ; r , celle de l'induit ; ρ , celle des inducteurs

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

D'autre part, on peut admettre que la force électromotrice est sensiblement proportionnelle au champ magnétique ou à $I + i$, ce qui donne

$$kE = Nn (I + i).$$

Cette équation représente la caractéristique de la machine.

Éliminons I ; il vient

$$E = \frac{Nni (R + r + \rho)}{k(R + r + \rho) - Nn}.$$

Cherchons maintenant la différence de potentiel ε aux bornes, on a

$$\frac{\varepsilon}{E} = \frac{R}{R + r + \rho};$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{NniR}{k(R + r + \rho) - Nn} = \frac{Nni}{k + \frac{k(r + \rho) - Nn}{R}}$$

ce qui montre que la double excitation permet de rendre constante la différence de potentiel, quelle que soit la résistance R ; il suffit qu'on ait

$$k(r + \rho) - Nn = 0.$$

L'équation précédente se réduit alors à

$$\varepsilon = \frac{Nni}{k}.$$

On voit donc que ε n'est constant que pour une même valeur de la vitesse.

Supposons au contraire que le fil parcouru par le courant de la machine soit monté en dérivation; soient i' , le courant qu'il reçoit; i'' , celui qui parcourt le circuit extérieur et I , le courant total.

L'équation de la caractéristique est

$$kE = Nn (i + i'),$$

et l'on a

$$\begin{aligned} I &= i' + i'' \\ i'\rho &= i''R \\ I &= \frac{E(R + \rho)}{r(R + \rho) + R\rho}. \end{aligned}$$

En éliminant E, I et i' entre ces quatre équations, on trouve

$$i'' = \frac{Nni\rho}{kr\rho + R(kr + k\rho - Nn)}.$$

L'intensité i'' sera donc indépendante de r si l'on a

$$kr + k\rho - Nn = 0,$$

et l'on aura

$$i'' = \frac{Nni}{kr}.$$

Cette condition est la même que plus haut. Une même machine pourra donc satisfaire à l'une quelconque des deux conditions, en changeant seulement, à l'aide d'un commutateur, les liaisons entre les différents fils.

Le calcul se ferait de même pour une machine compound.

CHAPITRE IV

—

STATIONS CENTRALES

33. Composition d'une usine centrale. — Certaines installations privées produisent elles-mêmes l'électricité dont elles ont besoin ; mais le courant est fourni le plus souvent par une station centrale. Certaines stations desservent une ville entière ; les villes importantes sont alimentées par plusieurs stations ; ainsi, l'on sait que Paris a été divisé en un certain nombre de secteurs.

La position de l'usine centrale doit être choisie avec soin, afin de réduire autant que possible le prix de la canalisation. Le meilleur emplacement serait celui qui représente en quelque sorte le centre de gravité de tous les foyers ; tous les points équidistants de ce centre sont équiva-

lents ; malheureusement, on est souvent obligé de choisir entre un très petit nombre d'emplacements.

La composition d'une station centrale varie avec les circonstances locales auxquelles on doit se plier ; il est donc impossible d'indiquer des règles fixes. Remarquons cependant que l'éclairage ne peut être interrompu pour aucun motif : on doit donc toujours avoir un matériel de réserve suffisant pour parer à tous les accidents et assurer le service dans tous les cas. La consommation variant selon les heures, il faut pouvoir régler la marche des machines suivant les besoins. Il est bon de disposer ces machines de sorte que chacune d'elles puisse alimenter l'un quelconque des circuits ou plusieurs à la fois ; on peut ainsi ne mettre en marché que le nombre de machines nécessaire, suivant l'accroissement ou le ralentissement de la consommation.

Les principaux appareils d'une station centrale sont, outre les dynamos, dont nous avons déjà parlé, les moteurs et le tableau de distribution.

34. Machines à vapeur. — Des moteurs sont toujours nécessaires pour faire tourner les dynamos ; le choix de ces moteurs se fera sui-

vant les circonstances. Si l'on dispose d'une source d'énergie naturelle, telle qu'une chute d'eau, il y a tout avantage à l'utiliser; on se sert alors le plus souvent de turbines; la commande peut se faire par engrenage ou par courroie, ou même directement, la dynamo étant montée sur l'axe de la turbine (usine du Salève).

Quand on ne dispose pas d'une source d'énergie naturelle, on se sert le plus souvent de la vapeur; l'emploi de cet agent est tout indiqué dans les usines qui l'utilisent déjà pour actionner de nombreux engins mécaniques, et qui peuvent faire commander en même temps la dynamo par le même moteur.

Lorsque la machine électrique possède un moteur particulier, la commande se fait parfois directement, par exemple au moyen de l'accouplement élastique Raffard; il faut alors choisir les deux machines de telle sorte qu'elles puissent tourner avec la même vitesse. Telle est la dynamo de M. Gisbert Kapp, qui fait 130 tours par heure et donne une différence de potentiel utile de 300 volts avec une faible intensité, pour la charge des accumulateurs, ou 260 volts avec un courant maximum de 550 ampères, soit 143 kilowatts; cette dynamo peut être actionnée di-

rectement par une machine Davey, Paxmann and C^o de 320 chevaux. La station de Marienbad possède des alternateurs Zipernowsky, de 50 000 watts, faisant 500 tours par minute et réunis directement avec les machines à vapeur Westinghouse par des manchons d'accouplement flexibles,

35. Turbo-générateurs. — Depuis quelques années, on remplace souvent les machines à vapeur par des turbines à vapeur fondées sur le même principe que les turbines hydrauliques.

Au lieu d'utiliser la pression de la vapeur, ces machines la laissent se détendre d'elle-même, en prenant la vitesse déterminée par les pressions des deux milieux où l'on opère (chaudière et condenseur, chaudière et atmosphère ou pression intermédiaire); elles utilisent ensuite cette énergie cinétique dans un mécanisme semblable aux turbines, qu'elles mettent en mouvement par une modification continue de la direction de la vitesse relative et une réduction graduelle de la vitesse absolue.

L'un des premiers appareils de ce genre fut le turbo-moteur Parsons, construit vers 1884 et plusieurs fois modifié depuis. Les turbines de

Last, de Daw, de Mac-Elroy, d'Edwards, de Se-ger sont des machines du même genre.

M. de Laval a imaginé, en 1891, un moteur dont le dispositif est très différent et qui donne des résultats bien supérieurs.

Cet appareil se compose d'une boîte d'arrivée de vapeur, dans laquelle fonctionne un obturateur très sensible, mû par un régulateur à force centrifuge. Au sortir de cet obturateur, la vapeur se répand dans une couronne circulaire d'où divergent un certain nombre de canaux, à section croissante, dans lesquels la pression passe de la valeur qu'elle avait dans la chaudière à celle qui correspond à l'échappement, tandis que le fluide acquiert une vitesse croissante.

La vapeur vient frapper alors les aubes d'une roue montée sur un arbre élastique et leur communique un mouvement de rotation si rapide, qu'elle ne reste pas plus de $\frac{1}{60\ 000}$ de seconde dans les aubes; elle s'échappe ensuite directement par le tuyau d'échappement. La turbine, en tournant, entraîne l'arbre, dont l'extrémité porte un pignon à dents hélicoïdales et doubles dentures inclinées symétriquement, qui engrène avec une roue de diamètre dix fois plus grand

et dont l'axe porte une poulie ou le plateau d'entraînement d'une dynamo, recevant ainsi une vitesse dix fois moindre que celle du pignon. Le régulateur à force centrifuge est monté sur l'arbre de la roue.

Le rendement pratique maximum de cette machine peut s'élever à 57 %, tandis que, dans les bonnes machines ordinaires, consommant 9 kilogrammes de vapeur par cheval effectif, il ne dépasse pas 43 %.

36. Moteurs à gaz et à pétrole. — Ces moteurs commencent aussi à se faire une place dans les usines d'électricité. Ils ont été d'abord admis dans les petites installations, pour lesquelles ils sont évidemment plus commodes et plus économiques que les machines à vapeur. Grâce aux perfectionnements récents, ils peuvent aujourd'hui être employés avec avantage dans les installations importantes : à cause de la facilité de la mise en marche et de l'arrêt, ainsi que pour leurs autres qualités, ils conviennent bien à la conduite des dynamos, en particulier lorsqu'elles servent à produire la lumière par arc et par incandescence. On peut seulement, dans ce cas, reprocher aux moteurs à quatre temps l'irrégularité de marche provenant de ce

qu'ils n'ont qu'une explosion tous les deux tours; mais on peut remédier à ce défaut par l'emploi de deux volants, ou en se servant d'un moteur à deux ou plusieurs cylindres.

Certains constructeurs ont combiné, pour cet usage, des modèles spéciaux qui donnent d'assez bons résultats pour qu'on puisse les accoupler directement avec les dynamos. Ainsi, la maison Bréguet construit un ensemble très compact, qui se compose d'un moteur Crossley accouplé avec une dynamo Desroziers; un régulateur spécial rend la marche parfaitement constante. Le système fait 250 tours par minute, vitesse qui convient également bien aux deux appareils. La liaison entre les deux machines est effectuée au moyen d'un accouplement élastique Raffard, dont l'interposition fait disparaître les petites variations de vitesse que pourrait donner encore la marche à quatre temps. Ce mode de jonction évite en outre les pertes d'énergie que produisent toujours les courroies et les transmissions intermédiaires.

Les moteurs alimentés au gaz de ville sont employés en France, dans les stations des villes suivantes : Agen, Bordeaux, Calais, Dieppe, Dunkerque, Foix, La Palisse, Marseille, Montpellier, Reims, Saint-Nazaire, Tou-

lon, Trouville, Valence, Verdun, Villeneuve-sur-Lot.

Les moteurs à pétrole peuvent être utilisés de la même manière; ils conviennent particulièrement pour les installations mobiles. Ainsi la maison Grob construit pour l'éclairage portatif une locomobile à la fois légère et solide, portant à l'arrière un moteur à pétrole Grob de quatre chevaux, à l'avant une dynamo, commandée par courroie. Derrière la dynamo se trouve le tableau de distribution. Pour le service, les lampes à arc se suspendent à des colonnes démontables munies de cercles à suspension. Pendant le trajet, elles sont fixées dans l'intérieur du chariot à des suspensions à ressorts; les colonnes sont attachées à la voiture. Les conducteurs sont enroulés sur des tambours.

37. Tableaux de distribution. — Pour permettre d'exécuter toutes les manœuvres nécessaires, la station comprend, outre les dynamos et les moteurs qui les actionnent, un *tableau de distribution*, placé près des machines et portant tous les instruments de contrôle et de mesures nécessaires pour assurer la régularité du service.

Ce tableau permet d'effectuer toutes les combi-

naisons possibles entre les dynamos et les circuits; sa composition varie d'ailleurs avec le nombre des dynamos et des circuits, la nature des brûleurs, le mode de montage, les heures d'allumage et d'extinction, etc. Le tableau de distribution renseigne le mécanicien sur la marche de l'éclairage et lui permet de fermer et d'ouvrir les différents circuits et d'introduire les résistances nécessaires. Il doit être disposé pour qu'on puisse envoyer le courant d'une quelconque des dynamos dans l'un quelconque des circuits, condition essentielle en cas d'accident.

Le tableau employé dans les installations de la société Cance, que nous prendrons comme exemple, contient les organes suivants : Un ampèremètre donne l'intensité du courant; un voltmètre, placé hors du circuit pour éviter l'échauffement, fait connaître la différence de potentiel aux bornes, lorsqu'on appuie sur le bouton placé au-dessous de lui. Lorsque la distribution est faite en dérivation, le tableau porte un rhéostat pour chaque circuit de lampes, ce qui permet d'avoir, avec le seul générateur, des lampes d'intensité différente, et un indicateur de marche. Des interrupteurs et des coupe-circuit complètent ce tableau.

Les coupe-circuit sont des appareils de sûreté, destinés à couper automatiquement un circuit lorsque l'intensité devient trop forte ; ils évitent les accidents tels que détérioration des fils des lampes, incendies, etc.

Les coupe-circuit sont généralement formés d'un fil ou d'une lame de plomb dont les dimensions sont calculées pour qu'il fonde quand le courant atteint une intensité voulue : le plomb fond lorsque la densité du courant qui le traverse atteint 30 ampères par millimètre carré de section.

Certains coupe-circuit sont formés d'un interrupteur que le courant ouvre lui-même quand l'intensité devient trop forte.

CHAPITRE V

DISTRIBUTION DIRECTE DE L'ÉLECTRICITÉ

38. Divers modes de distribution. — On n'a pu jusqu'ici, dans les installations d'éclairage, employer la terre pour le retour; la ligne qui transmet le courant doit donc se composer au moins de deux fils formant un circuit fermé, qui comprend les générateurs et les lampes. A l'origine, on ne plaçait qu'une lampe par batterie de piles ou par machine, ce qui permettait d'employer les régulateurs monophotes. On emploie aujourd'hui différents systèmes de distribution.

39. Distribution en série ou à intensité constante. — Ce mode de distribution est le plus simple; tous les appareils sont disposés les uns à la suite des autres sur un circuit unique.

Ce système s'emploie souvent pour les lampes à arc (*fig. 23*); la différence de potentiel entre

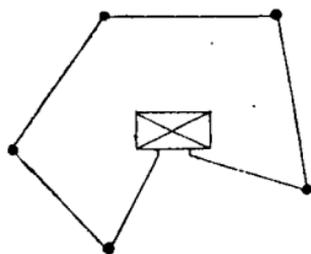


Fig. 23.
Distribution en série.

les bornes de la dynamo doit être égale à la somme des différences nécessaires pour chaque foyer. Si l'on éteint une lampe, on peut la remplacer par une résistance équivalente, ou, si on la met

en court circuit, il faut diminuer de la quantité correspondante la différence de potentiel entre les bornes; mais l'intensité reste constante.

Ce système consomme un peu moins d'énergie que les autres, mais il exige un fort voltage, si le nombre des lampes est un peu considérable. Cette condition peut, du reste, n'être pas un inconvénient, puisqu'on préfère généralement, lorsque la ligne est longue, effectuer la distribution à haute tension.

40. Distribution en dérivation ou à potentiel constant. — Dans ce système, qui est fréquemment employé pour les lampes à incandescence, chaque foyer est placé sur une dérivation spéciale. Il faut donc, si les lampes sont

toutes de même voltage, comme cela a lieu d'ordinaire, maintenir constante la différence de potentiel soit aux bornes même de la machine, soit aux points d'où partent les dérivation, quel que soit le nombre des foyers allumés. Dans tous les cas, chaque lampe doit être reliée à la source par un circuit ne comprenant aucun autre récepteur.

La disposition la plus simple et la meilleure serait d'avoir, pour chaque lampe, des conduc-

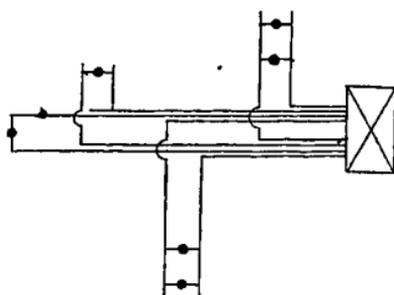


Fig. 21. — Distribution en dérivation

teurs particuliers, partant de la source même (fig. 24).

Ces conducteurs auraient la même résistance, si les récepteurs sont identiques, ou, sinon, des résistances proportionnelles à celles des lampes. Mais ce système ne peut guère s'appliquer qu'à un petit nombre de régulateurs ; pour les installations de lampes à incandescence où les récep-

teurs sont généralement fort nombreux, il devient impraticable et l'on est obligé de brancher, sur les deux conducteurs principaux, un certain nombre de lignes alimentant chacune plusieurs lampes (*fig. 25*). On calcule alors la perte de

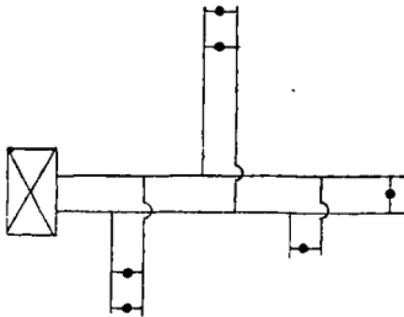


Fig. 25. — Distribution en dérivation.

charge, de la première à la dernière lampe de chaque ligne, de sorte qu'elle ne dépasse pas une limite fixée.

En général, les dérivations présentant une longueur croissante à mesure que la lampe est plus éloignée de la source, on serait obligé d'employer des conducteurs de plus en plus gros. Cette disposition, peu économique, est en outre trop compliquée pour qu'on puisse s'en servir ailleurs que sur de très petits circuits.

41. Distribution en boucle. — Plusieurs dispositions sont utilisées pour faire disparaître

les inconvénients dus à l'inégale résistance des lignes. Dans le montage *en boucle* (fig. 26), l'un des fils BB' est recourbé, de sorte que la dérivation qui, sur AA', commence le plus près de la dynamo, se termine au contraire sur BB' au point le plus éloigné de la machine. Dans ce

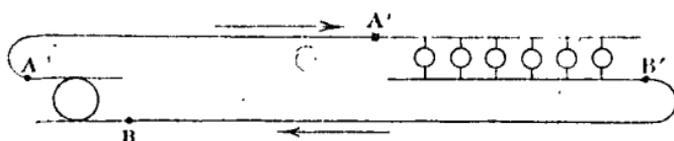


Fig. 26. — Distribution en boucle.

système, les conducteurs sont antiparallèles. Il est facile de voir que, dans ce mode de distribution, la différence de potentiel est beaucoup moins variable avec la position du récepteur, mais elle n'est pas encore constante.

42. Câbles coniques parallèles et antiparallèles. — Il est évident qu'on obtient une bien meilleure utilisation du métal en remplaçant, dans les deux systèmes précédents, les câbles cylindriques par des câbles coniques, dont le diamètre va en diminuant à partir de la source. Dans le premier cas, ces conducteurs sont parallèles ; dans le second, ils sont antiparallèles. La distribution en boucle, ainsi modifiée, donnerait une différence de potentiel absolument constante pour tous les foyers.

43. Distribution par feeders. — Le système en boucle a le défaut d'augmenter notablement la longueur des câbles ; il est donc préférable, pour une grande installation, d'adopter le système suivant. Les lampes sont montées en simple dérivation ; mais un certain nombre de câbles d'alimentation, appelés *artères* ou *feeders*,

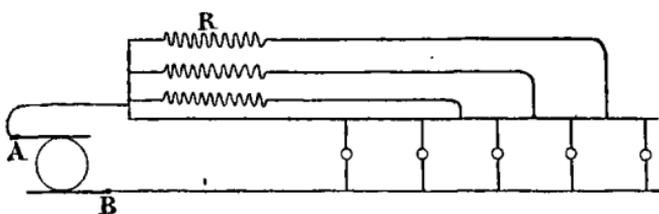


Fig. 27. — Distribution par feeders.

partant directement de la machine, viennent aboutir en divers points de la ligne principale, sans qu'on prenne aucune dérivation sur leur parcours (fig. 27).

On peut ainsi renforcer le voltage aux points faibles et obtenir une tension sensiblement constante sur tout le réseau. Les feeders ont des sections variables avec leur longueur, qu'on peut du reste faire modifier artificiellement au moyen de rhéostats.

44. Distribution mixte. — On adopte souvent un montage mixte ; on dispose les lampes en un certain nombre de séries et l'on groupe

ces séries en quantité. Ainsi, lorsqu'on emploie concurremment des lampes à arc et à incandescence, dans une distribution en dérivation à 110 volts, chaque dérivation peut comprendre, soit une seule lampe à incandescence, soit deux arcs en tension.

45. Distribution à trois fils. — On peut ranger dans les systèmes de distribution mixte le *système à trois fils*, imaginé par Edison, qui offre tous les avantages de la distribution en

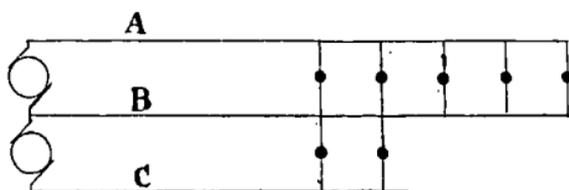


Fig. 28. — Distribution à trois fils.

dérivation et donne une grande économie sur le prix de la canalisation (*fig. 28*).

On fait usage de deux dynamos identiques, couplées en tension, et l'on monte les lampes en dérivation, en les réunissant par un fil intermédiaire, partant du point de jonction des deux machines, de sorte qu'il y ait le même nombre de foyers de chaque côté de ce conducteur. Les feeders règlent la tension aux divers points de la canalisation.

Il est facile de voir que ce système équivaut à deux groupes séparés, alimentés chacun par une des machines, et dont on supprimerait un des quatre fils.

En effet, lorsque toutes les lampes sont allumées, le conducteur central ne reçoit aucun courant; si l'un des groupes est éteint, il ne reçoit que le courant d'une seule machine, et c'est là l'intensité maxima qu'il puisse subir.

On fait donc une économie de 25 % sur le prix des conducteurs qui seraient nécessaires dans le cas de deux groupes distincts.

En outre, la perte d'énergie étant la même que dans un circuit simple et le nombre des lampes alimentées étant double, cette perte est moitié moindre que si l'on employait le système ordinaire à deux fils.

Si l'on renonce à ce dernier avantage et qu'on se contente de conserver l'égalité de perte de charge, on peut obtenir une économie des cinq huitièmes sur le poids du cuivre.

On peut même, le plus souvent, donner un diamètre plus petit au conducteur intermédiaire, pourvu qu'on prenne quelques précautions en installant les abonnés. Pour cela, on dispose sur les conducteurs extrêmes les récepteurs qui peuvent marcher avec ce voltage,

comme les moteurs ou des groupes de lampes en série, fonctionnant toujours simultanément. En outre, on a soin de diviser toute installation importante en deux parties, branchées sur les deux circuits et disposées de manière à produire toujours des charges sensiblement égales.

Le système à trois fils présente toutefois quelques inconvénients; il oblige à doubler le nombre des machines, sans qu'on soit cependant obligé de doubler celui des moteurs. De plus, il double la différence de potentiel entre les fils et la terre, ce qui augmente les dangers de pertes et d'accidents par insuffisance d'isolement; d'ailleurs ces inconvénients sont plus que compensés par les avantages indiqués plus haut.

46. Distribution à trois fils avec une seule dynamo. — Plusieurs solutions ont été proposées pour conserver les avantages de la distribution à trois fils en supprimant l'inconvénient le plus sérieux, la multiplicité des dynamos.

La C^{ie} de Fives-Lille emploie une disposition très simple, qui ne donne pas d'étincelles au point d'attache du fil neutre.

Ce fil s'attache au milieu d'une bobine B (*fig. 29*), douée d'une faible résistance et d'une self-induction considérable, et fixée elle-même

en deux points ab diamétralement opposés de l'induit.

Pendant la rotation, il se produit entre les points a et b une différence de potentiel alternative, mais le courant qui parcourt la bobine

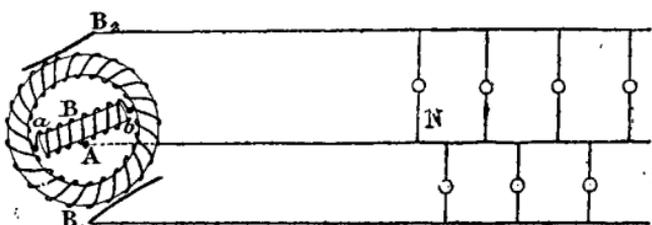


Fig. 29. — Distribution à trois fils avec une seule dynamo.

B est d'autant plus faible que le coefficient de self-induction L est plus élevé. On sait, en effet, que l'intensité maxima est

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}},$$

E étant la force électromotrice maxima ; R , la résistance ; $\omega = \frac{2\pi}{T}$, le chemin parcouru dans l'unité de temps.

Le point A possède constamment la moyenne des potentiels non seulement entre a et b , mais encore entre B_1 et B_2 . Il résulte de là que, si les deux groupes du réseau contiennent le même nombre d'appareils en marche, le fil N reste à

l'état neutre ; si le groupe 1 par exemple est plus chargé que le groupe 2, l'excès de courant du premier retourné à la machine par le fil N, se partage en A et, comme il est continu, traverse sans difficulté la bobine B pour pénétrer dans l'induit.

On est donc, avec ce dispositif, dans les mêmes conditions qu'avec deux génératrices montées en série : l'indépendance des groupes 1 et 2 est complète, et, si l'un consomme plus de courant, les différences de potentiel ne sont pas altérées, puisque l'excédent de courant retourne à l'induit presque sans perte par le fil N et la bobine B.

Au lieu de fixer la bobine B sur l'armature elle-même, on peut la séparer de la machine. On relie alors deux lames diamétralement opposées du collecteur à deux bagues calées sur l'arbre, et munies de deux frotteurs qui communiquent avec les extrémités de la bobine à grande self-induction, disposée dans une caisse à côté de la dynamo et dont le point neutre communique avec le fil compensateur.

47. Emploi d'un transformateur tournant. — On obtient de très bons résultats par l'adjonction d'un transformateur tournant.

La dynamo A (*fig. 30*) est reliée aux deux fils

extrêmes ; près d'elle sont placées deux autres dynamos, de puissance relativement faible, dont les inducts B et C sont reliés en série entre eux,

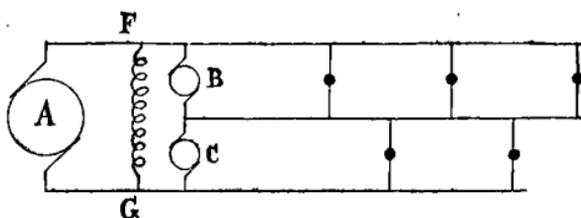


Fig. 33. — Emploi d'un transformateur tournant.

et les inducteurs représentés par la dérivation FG ; le fil neutre s'attache entre les deux inducts. Ces deux machines sont absolument solidaires l'une de l'autre.

Quand les deux circuits sont à peu près également chargés, les dynamos BC reçoivent un faible courant, qui les fait tourner : la dépense d'énergie est faible, car il suffit de vaincre les frottements. Lorsque la différence de charge devient sensible, l'induit placé du côté le moins chargé fonctionne comme moteur et l'autre comme dynamo : ce dernier fournit ainsi l'excès de courant nécessaire.

48. Distributions à fils multiples. — Le système à 3 fils peut être généralisé par l'emploi de 4, 5, ... fils. Les avantages et les incon-

vénients deviennent de plus en plus sensibles, à mesure que le nombre des conducteurs augmente : aussi n'emploie-t-on que la disposition à 5 fils. Il est alors nécessaire d'éviter l'augmentation du nombre des dynamos, par exemple au moyen de la méthode précédente.

En outre, il est indispensable d'isoler parfaitement les circuits d'abonnés, car la différence de potentiel entre les fils et la terre peut atteindre 200 à 250 volts, pour une installation de lampes à 110 volts. C'est surtout cette raison qui s'oppose à l'adoption d'un plus grand nombre de conducteurs.

49. Distribution par courants polyphasés. — Il semble au premier abord qu'il soit nécessaire, pour transmettre des courants triphasés de leur génératrice à une réceptrice éloignée, d'employer trois lignes distinctes, et par conséquent six conducteurs. Ce nombre peut en réalité être réduit à trois.

En effet, soient A, B, C, les trois circuits générateurs des courants triphasés, aa' , bb' , cc' , leurs pôles (fig. 31). Les différences de potentiel qui existent entre ces trois séries de pôles sont évidemment décalées d'un tiers de période l'une par rapport à l'autre. Si l'on réunit ensemble

les trois pôles $a'b'c'$, ils sont nécessairement à un même potentiel, que nous pouvons prendre pour origine. Les autres pôles présentent des potentiels variant d'une manière périodique et

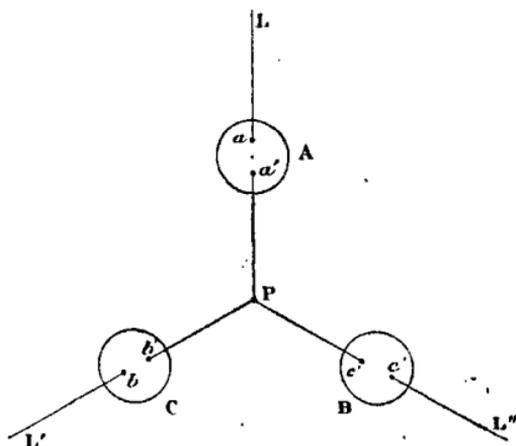


Fig. 31. — Montage en étoile.

décalés l'un par rapport à l'autre d'un tiers de période. Trois des pôles étant ainsi réunis, il suffit d'attacher aux trois autres trois fils de ligne. Les connexions peuvent être établies directement sur les bobines. Ce mode de montage est dit *en étoile*; il a été appliqué dans les expériences de Lauffen-Francfort.

La fig. 32 montre un autre genre de montage qui permet également de réduire à trois le nombre des fils de ligne, ainsi qu'il est facile de le démontrer. C'est le *montage en triangle*.

Les trois fils de ligne amenant aux appareils récepteurs des potentiels décalés l'un par rapport à l'autre d'un tiers de période, ceux-ci pourront

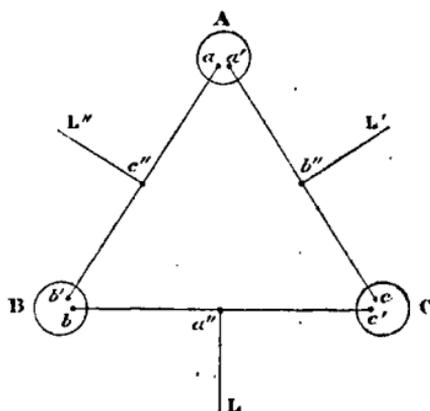


Fig. 32. — Montage en triangle.

être montés, comme les générateurs, soit en étoile, soit en triangle. Ces courants peuvent donc alimenter directement des foyers lumineux,

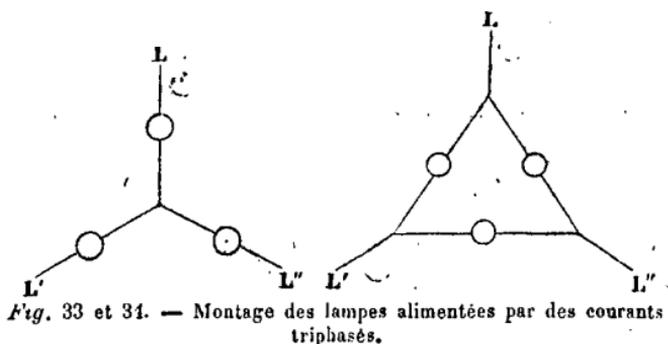


Fig. 33 et 34. — Montage des lampes alimentées par des courants triphasés.

pourvu qu'ils soient installés suivant l'une de

ces deux dispositions (*fig.* 33 et 34); les 3 fils de ligne s'attachent en LL/L". On a essayé aussi, à Francfort, une lampe à 3 filaments, reliés avec les 3 fils de ligne et réunis par leur sommet; mais cette disposition est peu pratique.

Cette symétrie et cette égalité de section des conducteurs constituent un avantage des courants triphasés sur les courants diphasés. Pour ces derniers, il faut employer 4 fils, ou 3 seulement, dont un plus gros servant de retour commun aux deux autres.

Il faut remarquer d'ailleurs que, si les courants polyphasés se prêtent beaucoup mieux que les courants alternatifs ordinaires à l'alimentation des moteurs, ils conviennent beaucoup moins à l'éclairage, car il est bien difficile d'avoir toujours le même nombre de lampes allumées sur les trois branches, et, dans ce cas, l'éclat des lampes n'est pas le même. Le montage en triangle ne comporte aucun remède à cet inconvénient; avec le système en étoile, on peut ramener l'égalité d'éclat en joignant tous les points centraux par un quatrième fil, appelé fil compensateur, ou à l'aide de prises de terre produisant le même effet.

CHAPITRE VI

DISTRIBUTION INDIRECTE DE L'ÉLECTRICITÉ

50. Divers modes de distribution indirecte. — Lorsque la distribution se fait à haute tension, on est obligé d'abaisser le potentiel aux points d'utilisation, parce qu'il est trop élevé pour les foyers ordinairement en usage et parce qu'il pourrait causer de graves accidents. On se sert pour cela d'accumulateurs ou de transformateurs.

51. Transformateurs. — Les transformateurs permettent de modifier les deux facteurs de l'énergie électrique; on leur fournit un courant d'intensité I et de tension E ; ils restituent un courant d'intensité I' et de tension E' , et l'on a, abstraction faite des pertes

$$EI = E'I'$$

Dans l'industrie, ces appareils sont toujours employés pour transformer un courant de faible intensité et de potentiel très élevé en un courant de basse tension et de grande intensité, susceptible d'être employé dans les lampes. Le rendement est d'environ 95 %.

Un transformateur se compose d'un noyau en fils de fer doux, sur lequel sont enroulées deux séries de bobines, l'une à fil gros et court, l'autre à fil long et fin. La dernière série reçoit les courants alternatifs, à haute tension, provenant de

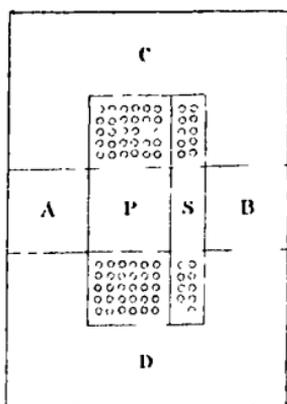


Fig. 35.

Transformateur à double circuit.

la ligne; la première donne naissance aux courants induits, à basse tension, qui sont utilisés dans les lampes.

Dans certains modèles, le circuit magnétique est simple : il est constitué par un anneau sur lequel s'enroulent alternativement les deux séries de bobines. Dans d'autres, le circuit magnétique est double : il se compose de deux circuits ABC, ABD, ayant une partie commune AB, autour de laquelle s'enroulent les bobines primaires P et secondaires S

(fig. 35). Tels sont les transformateurs Ferranti (fig. 36), Zipernowsky, Westinghouse, etc.

Les transformateurs permettent d'employer des machines à très haut voltage, ce qui est

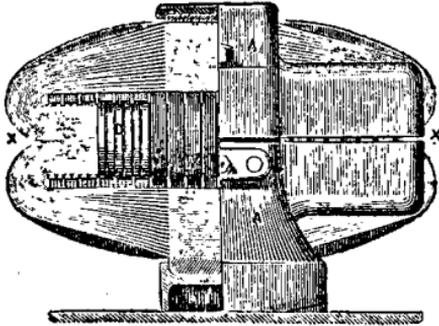


Fig. 36. — Transformateur Ferranti.

économique pour les grandes distances. Ils peuvent être alimentés et distribuer en série ou en dérivation. On préfère généralement le second système, parce qu'il est plus facile de maintenir constante la différence de potentiel que l'intensité. On fait généralement usage de feeders. Il importe de mettre les transformateurs et les fils primaires à l'abri de tout contact.

Les transformateurs peuvent être placés isolément ou groupés dans des sous-stations.

52. Distribution par transformateurs isolés. — Lorsqu'on adopte ce système, les transformateurs peuvent être considérés, par

rapport à la source, comme des récepteurs ; on peut donc leur appliquer les règles données plus haut. Les pertes de charge entre les divers transformateurs étant très faibles, on obtient généralement de très bons résultats en les alimentant par une ligne unique, plus ou moins subdivisée. Les systèmes à fils multiples pourraient être appliqués, mais il est plus simple d'adopter une tension très élevée et de prendre seulement deux conducteurs.

Chaque transformateur, remplissant à son tour le rôle de source par rapport aux lampes, devrait être placé au centre de gravité de celles-ci ; mais

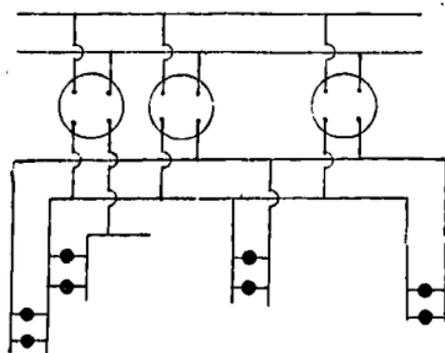


Fig. 37. — Distribution par transformateurs.

cette condition est souvent difficile à remplir, car il serait imprudent de faire pénétrer le circuit primaire dans l'intérieur des habitations.

Au lieu de faire desservir par chaque transformateur un groupe distinct de lampes, on peut grouper toutes ces lampes en un seul réseau (*fig. 37*), alimenté par l'ensemble des transformateurs. Les transformateurs étant toujours beaucoup plus nombreux que ne le sont les feeders dans un réseau à distribution directe, on peut diminuer beaucoup le diamètre des conducteurs secondaires, d'autant plus qu'on a soin de placer les transformateurs aux points où la consommation est la plus forte.

39. Distribution par sous-stations de transformateurs. — On peut aussi réunir les transformateurs dans un certain nombre de sous-stations. La disposition rappelle celle de la *fig. 37*; mais les groupes de transformateurs sont beaucoup plus nombreux. Des interrupteurs, placés à chaque sous-station, permettent d'introduire les transformateurs dans le circuit, progressivement et suivant les besoins. Un même surveillant peut, dans certains cas, être chargé de cette manœuvre pour plusieurs stations voisines,

54. Accumulateurs au plomb. — On désigne sous le nom d'accumulateurs des appareils

qui, après avoir été chargés à l'aide d'une source *primaire*, peuvent restituer sous forme de courant, immédiatement ou au bout d'un certain temps, la plus grande partie de l'énergie qu'ils ont reçue.

Un accumulateur se compose le plus souvent d'un vase rempli d'eau acidulée et renfermant deux lames de plomb, qu'on relie aux bornes de la dynamo. Quand on fait passer le courant, l'oxygène, qui se porte sur la lame positive, transforme le plomb en peroxyde, tandis que l'hydrogène s'accumule sur l'électrode négative.

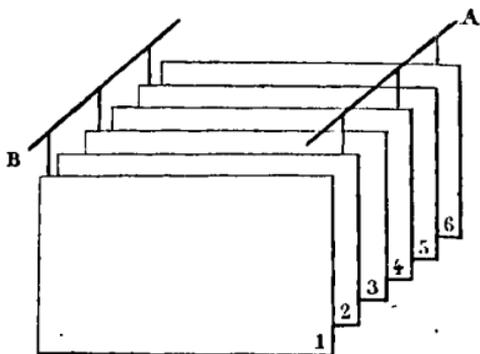


Fig. 38. — Montage des plaques d'un accumulateur.

L'élément est alors chargé : si l'on réunit directement ses deux bornes, on obtient un courant *secondaire*, qui traverse l'appareil lui-même en sens contraire du courant *primaire*. Pour donner aux électrodes une grande surface sans employer

des vases encombrants, on dispose un certain nombre de plaques parallèlement (*fig.* 38) et l'on réunit ensemble, d'un côté les plaques paires, de l'autre les plaques impaires ; ces deux groupes constituent les deux électrodes.

On augmente beaucoup la capacité des accumulateurs en soumettant les plaques de plomb à une formation préalable, qui leur donne une certaine porosité et leur permet d'absorber une quantité beaucoup plus grande d'énergie électrique.

Les accumulateurs de Montaud, Reynier, de Kabath, Epstein, Blot (à navettes), sont fondés sur ce principe et dérivent directement de la pile secondaire de Planté.

Dans l'accumulateur Blot, les plaques se composent d'une série de *navettes* portant, enroulées autour de leur âme, deux rubans de 0^{mm},5 d'épaisseur, l'un en plomb pur gaufré et strié, l'autre en métal moins oxydable ou en plomb pur seulement gaufré. Les âmes sont constituées par du métal non formable ; elles sont soudées au cadre, composé également de plomb non attaquant. L'extrême division de la matière ainsi obtenue assure une grande surface active avec un faible poids de plomb.

Les plaques sont soutenues par des cadres en

plomb dur, que réunissent deux tiges filetées, fixées par des boulons. Des lames et des tubes de verre maintiennent les plaques écartées.

La capacité spécifique n'est jamais inférieure à 10 ampère-heures par kilogramme de plaques au régime normal de décharge de 1 ampère par kilogramme de plaques.

55. Accumulateurs aux oxydes de plomb.

— Dans d'autres modèles, on augmente la capacité en recouvrant les électrodes d'oxydes de plomb, qui se modifient pendant la charge. L'électrode positive est ordinairement recouverte de minium (Pb^3O^4), la négative de litharge (PbO) : pendant la charge, le premier composé se transforme en peroxyde (PbO^2), le second se réduit à l'état de plomb métallique. Pendant la décharge, les deux oxydes primitifs se reforment. A ce système appartiennent les accumulateurs Faure-Sellon-Volekmar, Julien, Gadot, Laurent-Cély, etc.

Dans le nouveau modèle d'accumulateur Gadot, les plaques sont très épaisses et très robustes, elles présentent une série de rainures horizontales, remplies de matière active. En outre, elles portent seulement sur les bords des vases, sans toucher le fond; de sorte que la matière ac-

tive, en tombant à la partie inférieure, ne peut pas produire de courts-circuits. Des tubes de porcelaine verticaux, maintenus par un porte-tube spécial, également en porcelaine, assurent l'écartement des électrodes.

Les connexions s'établissent directement par les extrémités des plaques, qui ont été disposées à cet effet. On évite ainsi l'emploi de boulons, de vis, d'écrous, et tous les inconvénients qui en résultent.

L'accumulateur Tudor reçoit des couches d'oxyde, qui se détachent au bout de quelque temps : il fonctionne alors comme accumulateur au plomb.

56. Emploi des accumulateurs. — La force électromotrice des accumulateurs est d'environ 2 volts, leur rendement d'environ 90 %. Ils peuvent, comme tous les générateurs, se grouper en tension ou en quantité ; on peut même adopter l'un des modes de montage pour la charge, l'autre pour la décharge, ce qui permet de transformer l'énergie dépensée.

Les accumulateurs peuvent être employés à plusieurs usages : intercalés dans une distribution, ils servent en quelque sorte de volant électrique, remédient aux irrégularités de la marche

du moteur et évitent les vacillements ou les extinctions de la lumière. Ils peuvent servir aussi à transformer le courant pour une distribution indirecte : on dispose, dans un certain nombre de sous-stations, des batteries d'accumulateurs qu'on charge avec un courant continu, à haute tension, et qui fournissent pour l'éclairage un courant de tension convenable, par exemple 100 volts, et de plus grande intensité ; ils servent alors de transformateurs.

L'emploi des accumulateurs permet de faire toujours fonctionner les machines à pleine charge, d'arrêter la marche aux heures de faible charge et en particulier pendant la seconde moitié de la nuit ; il atténue les accidents des machines et empêche les extinctions totales ou partielles.

D'un autre côté, le coût des accumulateurs dépasse généralement l'économie réalisée sur les machines ; la perte par transformation est assez grande ; enfin l'usure des plaques est assez rapide.

57. Distribution par accumulateurs. — Les accumulateurs peuvent être disposés de plusieurs manières. On peut mettre les diverses batteries en série sur le circuit primaire et bran-

cher sur chacune d'elles un circuit secondaire ; les différents circuits secondaires sont en général complètement isolés. Les accumulateurs absorbent la plus grande partie de l'énergie pendant les heures de faible charge et la restituent à la canalisation lorsque le réseau est très chargé.

On peut, au contraire, séparer nettement la distribution de l'alimentation : on a, dans chaque sous-station, deux batteries distinctes ; chaque jour, on charge alternativement l'une d'elles, pendant que l'autre est en décharge. Ce système a l'inconvénient de doubler le nombre des batteries.

CHAPITRE VII

CHOIX DES MACHINES ET DU SYSTÈME DE DISTRIBUTION

58. Choix et réglage des dynamos. — Quel que soit le système de distribution adopté, on voit qu'il faut toujours maintenir constante, soit l'intensité, soit la différence de potentiel entre deux points A et B, par exemple les bornes de la dynamo.

Examinons seulement le second cas, qui est le plus fréquent. Soient E , la force électromotrice ; E' , la différence de potentiel aux bornes ; r , la résistance intérieure de la machine ; I , l'intensité du courant. On a :

$$E' = E - rI.$$

Supposons d'abord la machine à excitation séparée : E est constante et indépendante du débit :

Si l'on allume un plus grand nombre de lampes, le débit augmente, E' diminue et les lampes s'affaiblissent.

Si la machine est excitée en série, l'augmentation du nombre des foyers allumés tend encore à abaisser la différence de potentiel aux bornes, mais, comme les inducteurs reçoivent un courant plus fort, il semble qu'une compensation doive s'établir. En réalité, cette compensation ne peut avoir lieu que dans le voisinage d'un certain débit et l'on n'a aucun intérêt à essayer de l'obtenir.

Avec une machine excitée en dérivation, le même effet se produit encore, mais le courant d'excitation diminue aussi avec la différence de potentiel aux bornes, ce qui tend à produire un nouvel abaissement de cette différence. L'affaiblissement est donc plus marqué que dans les machines à excitation séparée.

Les machines compounds paraissent offrir une solution satisfaisante; en réglant convenablement les résistances des deux enroulements, la différence de potentiel aux bornes semble devoir rester constante et ne plus dépendre du débit. Leur emploi est en effet avantageux dans certains cas, en particulier lorsque le courant peut subir des variations trop brusques pour

qu'on puisse recourir à des appareils de régulation mécaniques. D'un autre côté, la compensation n'est jamais qu'approximative et n'a lieu que pour une certaine vitesse de la machine ; en outre, les enroulements doivent être calculés spécialement pour l'installation considérée ; si les conditions viennent à changer, la machine perd une partie de ses avantages. De plus, le prix de revient de ces machines est supérieur à celui des autres et la dépense d'énergie pour l'excitation est plus grande.

Pour ces diverses raisons, on préfère souvent employer une machine en dérivation, qui est plus simple, et utiliser d'autres procédés de régulation. Le meilleur de ces procédés consiste à intercaler dans le circuit inducteur un rhéostat, manœuvré à la main ou automatiquement.

Remarquons d'ailleurs que la différence de potentiel doit généralement être maintenue constante, non pas entre les deux bornes A et B, mais entre deux points tels que A' et B' (*fig. 26*). Si e est la différence de potentiel nécessaire pour le fonctionnement des lampes ; R, la résistance AA' ; R', la résistance BB' et I, l'intensité, il est évident que la différence aux bornes AB est

$$e + (R + R')I.$$

Cette différence n'est donc pas constante : elle doit augmenter avec I , c'est-à-dire avec le nombre des lampes allumées.

Dans le cas d'une machine compound, on peut obtenir ce résultat en faisant prédominer légèrement l'enroulement en série sur l'enroulement en dérivation. Si l'on se sert d'une machine en dérivation et d'un rhéostat, on peut relier le voltmètre aux points A'B' par des fils assez fins ; si le voltmètre est placé en AB, on fait augmenter un peu ses indications avec celles de l'ampèremètre, soit empiriquement, soit d'après une table dressée d'avance.

59. Choix d'un système de distribution.

— On voit que chaque système présente des avantages et des inconvénients particuliers ; il faut donc se laisser guider dans son choix par les conditions spéciales dans lesquelles on est placé et notamment par la longueur du réseau.

Le montage en série est certainement le plus économique, mais il ne peut s'appliquer que dans un petit nombre de cas, et surtout lorsque toutes les lampes doivent être allumées et éteintes en même temps. Chaque circuit comprend une machine distincte et, en général, de 30 à 50 lampes à arc. La dépense d'énergie est un peu plus

faible que dans les autres systèmes ; mais le réglage est plus difficile, la lumière est plus colorée et la valeur nécessairement élevée de la tension rend la manipulation des appareils dangereuse.

La distribution en dérivation convient surtout aux installations d'importance moyenne ; elle se fait généralement à 110 volts, chaque dérivation comprenant une seule lampe à incandescence ou deux arcs en tension. On se sert de machines à enroulement en dérivation ou compound. Dans ce système, les machines peuvent se grouper aisément en quantité suivant les besoins, les appareils sont indépendants, le réglage des lampes est facile et la lumière de l'arc est plus blanche.

Les systèmes à trois ou cinq fils, employés à Paris dans plusieurs secteurs, conviennent à des réseaux plus étendus : ils donnent une économie notable sur le poids du cuivre ; le réglage est un peu compliqué.

Enfin, pour les distances considérables, on a recours aux courants à haute tension : on emploie jusqu'à 2 000 ou 3 000 volts avec les courants continus, mais on a pu dépasser cette limite avec les courants alternatifs et aller jusqu'à 10 000 volts. Généralement, on réalise, dans ce

cas, une distribution indirecte, à l'aide de transformateurs ou d'accumulateurs.

On compte d'ordinaire la haute tension à partir de 440 volts.

L'emploi des courants à haute tension permet de réaliser une grande économie sur le prix des conducteurs. Supposons en effet qu'on veuille transmettre une puissance

$$W = EI$$

au moyen d'une ligne de résistance R . La perte dans cette ligne est

$$w = RI^2.$$

Si l'on transmet au contraire la même puissance au moyen d'une force électromotrice m fois plus grande et d'une intensité m fois plus petite, la perte sera, pour la même ligne,

$$w' = R \frac{I^2}{m^2}.$$

Si l'on conserve la même perte w , on peut employer une ligne de résistance

$$R' = m^2 R.$$

Comme la longueur reste constante, la section

du conducteur et le poids du métal sont diminués dans le rapport de m^2 à 1.

D'un autre côté, on peut, en conservant le même fil, augmenter la longueur de la ligne dans le même rapport, ce qui permet d'utiliser les forces naturelles à une plus grande distance.

CHAPITRE VIII

—

CANALISATIONS

60. Lignes et canalisations. — Les générateurs d'électricité doivent être reliés aux lampes par des conducteurs formant avec ces appareils un circuit fermé. Le retour par la terre, qui est généralement employé pour la télégraphie et la téléphonie, ne peut guère être admis pour l'éclairage, car les variations de résistance dues aux phénomènes d'électrolyse à la surface des plaques de terre produiraient des perturbations insupportables.

Les conducteurs peuvent être aériens ou souterrains ; dans le premier cas, ils prennent plus spécialement le nom de *lignes*, dans le second celui de *canalisations*. Pour l'éclairage, on se sert uniquement de cuivre et de bronze silicieux ou phosphoreux.

61. Lignes aériennes. — Les lignes aériennes sont portées par des poteaux en fer ou en bois, munis d'isolateurs ordinairement en porcelaine vernissée ; cette substance, moins isolante que certaines autres, l'ébonite, par exemple, est celle qui résiste le mieux aux influences atmosphériques ; elle se mouille moins uniformément par la pluie et sa surface ne s'altère pas avec le temps ; celle de l'ébonite, au contraire, devient rugueuse et retient facilement la poussière. Ces appareils ne sont jamais complètement isolants ; il y a donc avantage à diminuer autant que possible le nombre des supports, pour diminuer en même temps les pertes d'électricité. Les fils de bronze silicieux sont avantageux à ce point de vue, car ils permettent d'obtenir une portée de plus de 250 mètres.

Les isolateurs ont le plus souvent la forme de cloches. Pour les courants à haute tension, il est nécessaire d'avoir un très bon isolement : on peut placer les isolateurs dans des réservoirs contenant des matières bien isolantes, comme la paraffine ou les huiles minérales.

On obtient aussi de bons résultats avec les isolateurs à huile de MM. Johnson et Philipps. Ces appareils ont la forme d'une cloche dont le bord inférieur, recourbé, constitue un réservoir

annulaire qu'on remplit d'huile. On a ainsi un bain isolant qui empêche l'électricité de passer de la cloche sur son support.

On peut se servir aussi pour les fortes tensions de câbles recouverts de caoutchouc. Pour diminuer les supports autant que possible, on peut suspendre le câble électrique à un câble auxiliaire d'acier galvanisé, au moyen d'anneaux en porcelaine, attachés par des fils métalliques au câble d'acier.

62. Canalisations souterraines. — Lorsqu'on est obligé de placer les conducteurs dans le sol, on peut enfouir directement le câble dans la terre, mais il doit être alors parfaitement isolé ou protégé.

Le plus souvent, on place les conducteurs soit dans un tuyau en fonte ou en poterie, soit dans un caniveau en ciment. Dans ce dernier cas, le fil est nu et repose sur des isoloirs verticaux fixés au radier. Si le tuyau est métallique, on isole les conducteurs en les faisant passer dans des disques en verre percés de trous ou en enroulant des cordes autour d'eux (système Edison). On remplit ensuite le tuyau d'une matière isolante telle que du bitume. Pour établir les joints, on se sert ordinairement de boîtes

de jonction, dont la disposition varie suivant les systèmes.

63. Cas des courants alternatifs. — Lorsque l'on se sert de courants alternatifs, il faut placer les deux conducteurs très près l'un de l'autre, afin d'éviter la production de courants induits dans l'armature protectrice, ainsi que dans les masses métalliques et les circuits voisins. Le meilleur système consiste dans l'emploi de deux conducteurs concentriques, ce qui supprime complètement les effets d'induction. Cette disposition diminue aussi le danger qui peut résulter du contact des conducteurs, puisqu'il est impossible de les toucher tous les deux à la fois : on peut même, comme l'a proposé M. de Ferranti, mettre le conducteur extérieur en communication avec le sol par une de ses extrémités, ce qui empêche toute secousse dangereuse, même si le conducteur intérieur est à un potentiel élevé. Enfin, avec les courants alternatifs, la densité du courant n'est pas la même dans toute la section des conducteurs ; elle décroît de la périphérie au centre, de sorte que, à poids égal, il est plus avantageux d'employer des tubes creux ; ces tubes peuvent être placés concentriquement, ce qui a encore l'avantage de réduire au mini-

mum la quantité de substance diélectrique nécessaire.

64. Conducteurs placés à l'intérieur des édifices. — A l'intérieur des édifices, il suffit, lorsqu'il s'agit d'un local bien sec, d'entourer les conducteurs d'une matière textile enduite d'une substance imperméable à l'humidité, comme la paraffine. Si les fils sont exposés à l'humidité, il faut les recouvrir de caoutchouc. Lorsqu'ils se trouvent à la portée de la main, il est nécessaire de les protéger par des moulures en bois ou de les placer dans des tubes en papier comprimé et imprégné de matières préservatrices (procédé Bergmann).

65. Conditions d'établissement d'une canalisation. — Dans l'établissement d'une canalisation, on cherche évidemment à diminuer autant que possible le prix d'établissement, mais il faut tenir compte aussi de la perte d'énergie qui se produit sous forme de chaleur, et éviter que l'échauffement puisse compromettre la solidité des conducteurs ou fondre la gaine isolante qui les recouvre. Enfin, le diamètre doit être calculé de telle sorte que la chute de potentiel entre deux récepteurs consécutifs ne soit pas trop considérable.

Le calcul de la température que peut atteindre un conducteur traversé par un courant est assez complexe : aussi a-t-on préféré déterminer empiriquement cette température pour les cas les plus fréquents. On admet généralement, suivant la règle indiquée par la *Institution of Electrical Engineers*, de Londres, que la température du fil ne doit pas dépasser de plus de $41^{\circ},7$ la température ambiante, lorsque l'intensité prend une valeur double de sa valeur normale : il résulte de là que le courant normal ne doit pas élever la température du conducteur de plus de $10^{\circ},4$.

D'après cette règle, l'expérience donne pour l'intensité maxima correspondant à un fil de diamètre D , en millimètres,

$$I = 4,375 D^{\frac{3}{2}}.$$

On déduit de là, pour le diamètre minimum d'un fil devant supporter une intensité I donnée :

$$D = 0,374 I^{\frac{2}{3}}.$$

Lorsqu'on veut transporter un courant de grande intensité, il y a évidemment avantage à subdiviser le conducteur, afin d'augmenter la surface de rayonnement.

Quant à la dépense, il faut remarquer que le prix d'établissement comprend deux parties : le prix du conducteur et de son revêtement, qui est sensiblement proportionnel à la section du fil, et, d'autre part, le coût des travaux de tranchée, de remblai, etc., qui est indépendant de ce diamètre. D'après une règle donnée par lord Kelvin, *la dépense est minima lorsque le prix de l'énergie perdue annuellement sous forme de chaleur est égal à l'intérêt de la partie du capital immobilisé proportionnelle à la section du conducteur.*

La densité de courant qui correspond à cette condition du maximum d'économie est indépendante de la longueur de la ligne. Mais il faut remarquer que la dépense totale et par conséquent le prix de revient de l'énergie électrique augmente avec cette longueur ; aussi l'on se trouve obligé d'augmenter le prix de vente lorsque le réseau est trop étendu, à moins que le prix de revient de l'énergie mécanique ne soit très faible, comme dans le cas d'une chute d'eau.

CHAPITRE IX

—

ÉCLAIRAGE PAR INCANDESCENCE

66. Divers systèmes d'éclairage électrique. — Trois genres d'appareils ont été employés jusqu'ici pour l'éclairage par l'électricité, les lampes à incandescence, les régulateurs et les bougies. Ce dernier appareil, imaginé par Jablochkoff en 1879, utilise l'arc électrique sans nécessiter le mécanisme compliqué des régulateurs. Il a joui d'abord d'une grande vogue, mais il est à peu près abandonné aujourd'hui, son rendement lumineux étant plus faible que celui des régulateurs ; nous ne le décrirons donc que sommairement.

67. Éclairage par incandescence. — Les lampes à incandescence se composent d'un filament conducteur, doué généralement d'une

grande résistance, et porté à une température élevée par un courant électrique.

Si R est la résistance du filament ; I , l'intensité du courant, l'énergie absorbée par ce conducteur en un temps t est, d'après la loi de Joule,

$$RI^2t,$$

et la quantité de chaleur dégagée est

$$(1) \quad Q = \frac{RI^2t}{J},$$

J étant l'équivalent mécanique 4,17. En appelant ε la différence de potentiel entre les deux bouts du filament, on peut écrire encore

$$(2) \quad Q = \frac{\varepsilon It}{J},$$

car

$$I = \frac{\varepsilon}{R}.$$

Enfin on sait qu'un courant d'intensité I débite I coulombs par seconde : It représente donc le nombre C de coulombs qui a traversé l'appareil en ce temps et l'on a

$$Q = \frac{C\varepsilon}{J}.$$

En une seconde, la quantité de chaleur dégagée est

$$q = \frac{c^2}{j} = \frac{\varepsilon l}{j}.$$

Il est évident que l'on obtiendra, toutes choses égales d'ailleurs, une élévation de température et par suite un pouvoir éclairant d'autant plus considérables que la chaleur dégagée en une seconde sera plus grande : il y aura donc intérêt à augmenter le produit le de la différence de potentiel en volts aux deux extrémités du filament par l'intensité du courant en ampères. Ce produit représente la *puissance* de la lampe exprimée en *vollampères* ou en *watts*.

68. Choix du filament. — Pour qu'un conducteur présente une résistance suffisante et qu'il s'échauffe facilement, il convient évidemment qu'il soit d'un faible diamètre. Les métaux et le charbon sont les conducteurs employés d'ordinaire et ceux qui se prêtent le mieux à cette condition : on a construit tout d'abord des lampes à incandescence à filament de charbon ou de platine, mais ce dernier corps n'a pas tardé à être abandonné, car le charbon présente sur lui de nombreux avantages. Il est infusible, tandis que le platine en fil fin fond assez facilement.

Il est moins conducteur, de sorte qu'à égalité de dimensions et d'intensité, il dégage une plus grande quantité de chaleur. Il a une plus faible chaleur spécifique et par conséquent s'échauffe davantage pour une même quantité de chaleur. Enfin, à la même température, il a un plus grand pouvoir rayonnant et, par suite, il est plus lumineux que le platine. L'iridium et le platine-iridium ont aussi été essayés sans plus de succès que le premier métal.

69. Température du filament de charbon. — Les équations (1) et (2) permettent de calculer la température atteinte par un filament de résistance connue, dans des conditions déterminées. L'équilibre est obtenu lorsque la quantité de chaleur dégagée en une minute, et indiquée par la loi de Joule, est égale à la quantité perdue par rayonnement dans le même temps. Soient T , la température du filament; r , son rayon; l , sa longueur; ρ , sa résistance spécifique; k , son coefficient de rayonnement par unité de surface, et t , la température ambiante. En admettant que la loi de Newton soit applicable, T s'obtiendra par l'équation

$$2 \pi r l k (T - t) = \frac{\rho l^2}{J \pi r^2}.$$

La température et par suite l'éclat lumineux augmentent rapidement avec l'intensité ; ainsi, en passant de 1 000 à 1 200°, ce qui suppose seulement qu'on ait augmenté l'intensité dans le rapport de 11 à 10, le pouvoir éclairant devient 40 fois plus grand. Il est vrai qu'en poussant la lampe on diminue sa durée. On opère dans les conditions les plus économiques lorsque le gain en lumière et la perte en durée, considérés au point de vue de la dépense, s'équivalent exactement.

70. Dimensions des filaments de charbon.

— Le diamètre des filaments de charbon employés varie d'un système à l'autre : il doit dépendre en effet de la résistance du filament, qui varie elle-même avec sa nature, et de l'éclat lumineux qu'on veut obtenir pour une intensité de courant donnée. La forme ronde est généralement préférée à la forme carrée, parce qu'à égalité de surface extérieure elle offre une plus grande résistance. Quant à la longueur, elle augmente évidemment avec l'intensité lumineuse que doit donner la lampe.

Les filaments des lampes Edison présentaient à l'origine une section rectangulaire de 0^{mm},3 sur 0^{mm},1 et une longueur de 110 millimètres pour

une intensité de 10 bougies et de 125 millimètres pour une intensité de 16 bougies. Ils ont aujourd'hui une section circulaire, qui, à valeur égale, leur assure un périmètre beaucoup plus grand.

Les filaments des lampes Maxim de 16 bougies ont une longueur de 113 millimètres et une section de $0^{\text{mm}},5$ sur 1 millimètre. On peut conserver le même éclairage en faisant varier la longueur et la section, pourvu que la surface extérieure reste constante. Les charbons minces et longs sont évidemment plus exposés à la rupture.

71. Dépense d'énergie dans les lampes.

— Une lampe Edison donnant 1,71 carcel fonctionne avec un courant de 0 amp.,8 et une différence de potentiel de 100 volts. Elle consomme donc par seconde 0 coul.,8 sous 100 volts, c'est-à-dire une quantité d'énergie de $100 \times 0,8 = 80$ joules; en d'autres termes, la puissance est de 80 watts, ou un peu plus de un dixième de cheval. On obtient donc environ 16 carcels par cheval. A chaud, la résistance de ce modèle de lampe est $\frac{100}{0,8} = 125$ ohms.

La plupart des lampes à incandescence sont, comme la lampe Edison, à grande résistance;

on préfère généralement en effet, à égalité d'intensité lumineuse, diminuer l'intensité et augmenter la différence de potentiel, car, lorsqu'on double l'intensité, il faut quadrupler la section des conducteurs.

Les lampes à faible résistance ne sont avantageuses que montées en série ; mais il faut alors mettre en dérivation sur chaque lampe une résistance équivalente qui entre automatiquement dans le circuit quand la lampe s'éteint ; il n'existe actuellement qu'un petit nombre de lampes à faible résistance, notamment celles de Bernstein et de Heisler.

La lampe Bernstein exige 10 ampères et 7 volts ; sa puissance est donc

$$10 \times 7 = 70 \text{ watts ;}$$

sa résistance à chaud est 0 ohm,7.

Les lampes de grande résistance se montent généralement en dérivation. Pour alimenter 1 000 lampes Edison, du type considéré plus haut, il faudra employer une dynamo donnant 800 ampères sous 100 volts. Pour un même nombre de lampes Bernstein, il faudrait 10 ampères et 7 000 volts. Pour éviter l'emploi peu pratique d'une force électromotrice aussi élevée,

on peut diviser les lampes en cinq séries parallèles de 200 chacune. Il faudra alors 50 ampères et 1 400 volts. Nous n'avons pas tenu compte, dans cette application, de la résistance du circuit.

72. Rendement optique des lampes à incandescence. — Nous avons donné plus haut la mesure de l'énergie dépensée dans une lampe sous forme de chaleur; mais la plus grande partie de cette énergie ne donne naissance qu'à des rayons calorifiques obscurs, et l'effet lumineux n'est dû qu'à la plus petite portion. On appelle *rendement optique* le rapport entre la quantité d'énergie transformée en radiations lumineuses et la quantité totale dépensée dans la lampe. Ce rendement varie évidemment avec la nature et la préparation du filament : il est du reste toujours très faible et compris entre 4 et 6 %. Malgré sa faible valeur, il est encore plus grand que celui des autres sources artificielles : ainsi le rendement d'une flamme de gaz est de 4 %, celui d'une lampe à huile 3 %. L'arc voltaïque est la source qui donne le rendement le plus élevé, car il est égal à 10 %.

73. Durée des lampes à incandescence.

— La durée moyenne des lampes dans l'état actuel de leur fabrication est d'environ mille heures, pourvu que la marche soit bien régulière et qu'on ne dépasse pas le nombre de volts indiqué. Si l'on n'observe pas ces conditions, la limite peut se trouver abaissée dans une proportion plus ou moins considérable. Il est évident que la durée dépend aussi de la nature du filament et de son mode de préparation.

74. Couleur de la lumière par incandescence. — La lumière émise par les filaments de charbon est riche en radiations rouges et jaunes; elle est cependant moins rouge que la lumière du gaz, mais elle s'en rapproche beaucoup plus que celle de l'arc voltaïque.

CHAPITRE X

—

LES LAMPES A INCANDESCENCE

75. Principe des lampes à incandescence.

— Les lampes à incandescence se composent d'un filament de charbon placé dans une ampoule où l'on a fait un vide presque absolu ; il en existe du reste bien des systèmes qui diffèrent par l'origine du filament, sa forme et son mode de préparation. Quelles que soient d'ailleurs ces conditions, le filament doit être très homogène et élargi vers les bouts, pour être plus solide. Il doit aussi être en parfaite communication avec les conducteurs qui amènent le courant. La forme rectiligne ne lui convient pas, parce qu'elle ne lui laisserait pas une élasticité suffisante pour résister aux chocs et aux variations de longueur : on rapproche ordinairement les deux extrémités de manière à ob-

tenir une forme courbe, qui est aussi plus avantageuse, au point de vue de l'éclairage, qu'un point ou un trait lumineux très fin.

76. Lampe Édition; sa fabrication. —

La lampe Édition est la première lampe à incandescence qui ait satisfait aux besoins de l'industrie; elle date de 1880.

Le filament a la forme d'un U renversé; il est placé dans une ampoule presque vide d'air (*fig. 39*).

Voici les principales phases de la fabrication de ces lampes.

Les filaments de charbon proviennent de la calcination de certaines espèces de bambous du Japon. On prend des fragments d'environ 20 centimètres de longueur, choisis à la surface de la tige, et, après les avoir

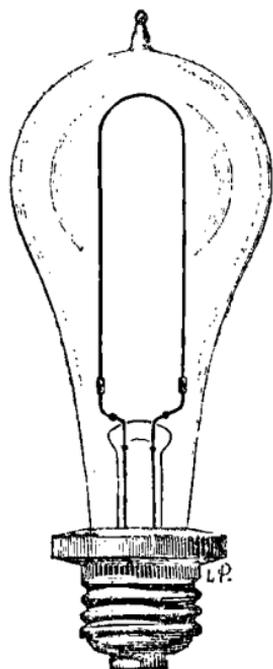


Fig. 39. — Lampe Édition.

amenés à l'épaisseur voulue, on les découpe en filaments renflés aux deux bouts. Ces filaments

sont ensuite introduits dans des moules plats en nickel ou en terre réfractaire, qui leur donnent la forme qu'ils doivent conserver. Ces moules sont eux-mêmes enfermés dans des creusets en plombagine, qu'on porte à une température suffisante pour carboniser le bambou au degré convenable. Le filament est alors fixé à la pièce qui doit le porter : cette pièce est formée d'un tube de verre, qu'on voit dans l'intérieur de la lampe, et qui renferme deux fils métalliques. Ces fils traversent le haut du tube, qui est fermé ; en ce point, ils sont formés de platine, qui a la même dilatation que le verre ; au-dessus et au-dessous ils sont en cuivre.

On fixe donc le filament de charbon à la partie supérieure des fils de cuivre, et, pour assurer le contact, on recouvre d'un dépôt de cuivre galvanique ou de carbone les points d'attache du charbon et du métal. Cette opération terminée, on introduit le tout dans l'ampoule de verre, qu'on ferme à la partie inférieure en la soudant au chalumeau. Il reste à la partie supérieure de l'appareil un tube cylindrique, par lequel on fait le vide, en le faisant communiquer avec une pompe à mercure de Sprengel. Lorsque le vide est presque fait, on fait passer dans la lampe un courant, dont

on augmente peu à peu l'intensité jusqu'à ce que le filament ait atteint l'éclat qu'il devra avoir en fonctionnement régulier; cette opération chasse les gaz condensés par le charbon et dont le dégagement ultérieur aurait pu augmenter inutilement la pression intérieure.

Quand on a atteint un vide suffisant, on ferme l'ampoule au chalumeau et on scelle sa base avec du plâtre dans un manchon en cuivre fileté extérieurement; la surface latérale de ce manchon communique avec l'une des extrémités du filament, tandis que l'autre bout du charbon est relié à une rondelle de même métal scellée au milieu du plâtre, et qui fait saillie à la partie inférieure.

On laisse généralement dans les lampes une pression un peu inférieure, à froid, à un centième de millimètre de mercure. Il n'y a pas à pousser la raréfaction au-delà de cette limite, car l'opération deviendrait trop coûteuse, et un vide trop parfait a l'inconvénient d'accélérer la désagrégation du filament, dont les particules enlevées vont noircir l'ampoule, en même temps que la durée de la lampe se trouve abrégée.

Les lampes Edison peuvent se placer et s'enlever aisément, de sorte qu'on peut les

remplacer très facilement quand elles sont usées.

En effet, les supports destinés à ces lampes se terminent par une douille en bois dont la cavité intérieure porte au fond une plaque de cuivre communiquant avec l'un des conducteurs; une monture en cuivre filetée garnit l'intérieur de la cavité : elle est reliée à l'autre conducteur et isolée de la plaque précédente.

Il suffit de visser la lampe jusqu'au fond de la douille pour mettre les deux pièces métalliques, dont elle est munie, en communication avec les deux parties correspondantes de la douille et par suite avec les conducteurs. Lorsque la lampe est usée, il n'y a qu'à l'enlever et en visser une autre à la place.

Il est généralement nécessaire de pouvoir allumer ou éteindre une lampe à volonté : on se sert pour cela d'un interrupteur, ayant souvent la forme d'un robinet, qu'on place soit sur la douille elle-même, soit sur les fils conducteurs qui s'y rendent.

77. Lampe Swan. — Cette lampe a été imaginée à peu près en même temps que la précédente. Son filament est formé de fils de coton tressés et enroulés en un renflement aux extré-

mités. Après une longue immersion dans l'acide sulfurique étendu, on le recourbe en forme de boucle et on le chauffe à blanc dans un creuset en terre réfractaire, rempli de poussier de coke très fin. Il est ensuite fixé à des fils de platine, qui se terminent par deux anneaux, dans lesquels on engage deux crochets fixés au support. Un ressort à boudin fait pression sur la lampe et empêche les crochets de se dégager.

Depuis quelques années, ce mode de montage, qui exposait beaucoup à casser les fils de platine, a été abandonné et remplacé par un support à baïonnette.

La lampe Swan donne de bons résultats. La consommation d'énergie est assez faible. La puissance lumineuse est égale à celle des lampes Edison.

Les lampes Siemens et Halske utilisent également les fils de coton tressés.

Beaucoup d'autres modèles donnent des résultats satisfaisants; ils diffèrent peu les uns des autres. On peut citer les lampes Gérard, Koltinsky, La Française, etc.

78. Lampe Lane-Fox. — Dans la lampe Lane-Fox, le filament est constitué par des brins de chiendent ou de bouleau carbonisé : ces

fibres, nettoyées à la potasse, sont tendues sur un moule en graphite et carbonisées dans un creuset de même substance. On les chauffe ensuite au moyen d'un courant énergétique, après les avoir placées dans des globes remplis de benzol ; le charbon provenant de la décomposition du carbure vient renforcer les parties les plus minces, qui sont en même temps les plus chaudes. Les filaments, qui ont à peu près la même forme que ceux d'Édison, sont ensuite fixés par leurs extrémités dans de petits cylindres creux de graphite, dans lesquels pénètrent par l'autre bout des fils de platine, se terminant dans des renflements en verre, pleins de mercure. Au-dessus de ce liquide se trouvent des tampons d'ouate fortement pressée, surmontés d'un bloc de plâtre qui clôt la lampe. Ce système n'est pas appliqué en France.

79. Lampe Maxim. — Il en est de même du système Maxim, qui donne cependant des résultats satisfaisants. Le filament n'est pas recourbé : on le découpe à l'emporte-pièce dans un papier bristol en lui donnant la forme d'un M (*fig.* 40). On le carbonise légèrement entre deux plaques de fonte, et on l'introduit dans l'am-

poule, qu'on remplit de vapeur de gazoline. On fait un vide partiel et l'on chauffe le filament au moyen d'un courant électrique, de

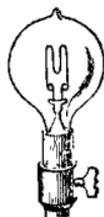


Fig. 40.
Lampe Maxim.

manière à décomposer lentement la gazoline, dont le charbon se dépose sur le filament et le renforce. Cette manière de *nourrir* le charbon, que nous avons déjà indiquée dans le procédé Lane Fox, est due à M. Maxim et employée par

beaucoup de constructeurs. Elle donne aux fils une grande élasticité.

80. Lampe Cruto. — Le filament des lampes Cruto est formé d'un fil de platine à la Wollaston, qu'on entoure d'une gaine de charbon en le fixant dans une ampoule où circule lentement un courant d'éthylène. Le platine étant alors porté au rouge par un courant électrique, il se forme, par une suite de décompositions chimiques, une série de couches concentriques de charbon, constituant un filament sensiblement homogène. Un système ingénieux de vérifications électriques permet d'arrêter l'opération au moment précis où le filament a le diamètre voulu. On élève la force électromotrice de manière à volatiliser le fil de platine, dont

les vapeurs se combinent au carbone. Le charbon est ensuite fixé sur des supports de platine par une soudure due également à la décomposition de l'éthylène. Les filaments ainsi obtenus ont une grande surface d'émission et par suite un bon rendement lumineux.

La méthode précédente est assez coûteuse; M. Cruto l'a remplacée par la suivante, qui est beaucoup plus économique. On verse, goutte à goutte, 150 grammes d'acide sulfurique dans une solution contenant 40 grammes de sucre et 100 grammes d'eau distillée; puis on ajoute de l'eau jusqu'à ce que le liquide marque 2° Baumé. Après filtration, on obtient une pâte qu'on fait passer à la filière; on sèche à l'air, puis à l'étuve, et l'on carbonise dans des moules remplis de poussier de charbon de bois. On renforce ensuite comme plus haut.

81. Lampe Gérard. — Les filaments des lampes Gérard sont formés de coke en poudre mélangé de matières gommeuses, qu'on a comprimé et passé à la filière. On calcine ensuite à l'abri de l'air et l'on soude deux filaments rectilignes par leur partie supérieure, de manière à former un V renversé. Ces lampes n'ont qu'une résistance assez faible, et exigent par conséquent

une intensité assez grande et une faible différence de potentiel. La douille est simple; douille un bon contact et permet de remplacer très facilement les lampes usées.

82. Lampe Bernstein.— La lampe Bernstein est la plus connue des lampes à faible résistance. Le modèle actuel se compose d'un filament gros et court, replié en U et fixé à deux tiges qui servent à assujettir la lampe sur sa douille. Celle-ci porte une clef, qui oblige à mettre la lampe en court circuit avant de la retirer, ainsi qu'un ferme-circuit automatique, qui assure la continuité du circuit lorsque le filament vient à se briser. Cet appareil se compose de deux ressorts, séparés par une substance médiocrement isolante et placés en dérivation sur la lampe. Quand le filament casse; cette matière est traversée par le courant entier, qui l'échauffe et la ramollit assez pour permettre aux deux ressorts de venir en contact. La douille et la clef sont en matière isolante, afin d'éviter les accidents dus au potentiel élevé du courant.

CHAPITRE XI

ÉCLAIRAGE PAR L'ARC VOLTAÏQUE

83. Arc voltaïque. — On donne ce nom à un arc lumineux qui se produit entre deux conducteurs reliés aux pôles d'un générateur pulsant, lorsque, après les avoir mis en contact, on les écarte à une petite distance: Cette expérience fut réalisée par sir Humphry Davy, en 1813, à l'aide de deux tiges de charbon de bois communiquant avec une pile de Volta de 2 000 éléments. Foucault remplaça, vers 1840, le charbon de bois par du charbon de cornue, qui est plus dur, plus conducteur et qui s'use moins vite; on préfère aujourd'hui des charbons artificiels qui sont plus purs, plus homogènes et d'une forme plus régulière.

On attribue le phénomène de l'arc à des particules très fines, peut-être des vapeurs, qui sont

entraînées par le courant et établissent une communication entre les deux électrodes.

L'arc voltaïque est trop éclatant pour qu'on puisse l'examiner directement, à moins de se servir d'un verre noirci. On peut aussi projeter l'image agrandie des charbons sur un écran au moyen d'une lentille ou d'un miroir concave.

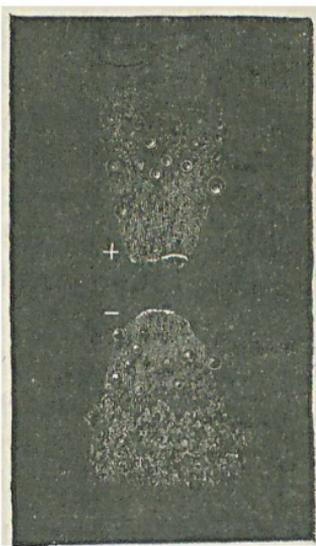


Fig. 41. — Arc voltaïque.

On voit alors que l'arc est bien moins lumineux que les pointes des charbons (fig. 41); le charbon positif est plus brillant que le négatif et sur une plus grande longueur; sa température doit donc être plus élevée.

D'après les expériences récentes de M. Violle, l'arc et le charbon positif possèdent une température d'environ 3500°. Cette température est indépendante de la puissance de l'arc, car elle est déterminée par l'ébullition du carbone. Le phénomène est d'ailleurs complexe; en même temps que le carbone se vaporise, sa

molécule se dédouble. C'est à cause de sa nature gazeuse que l'arc est beaucoup moins brillant que les charbons, quoique sa température soit aussi élevée que celle du charbon positif.

La lumière émise est riche en rayons très réfrangibles et paraît ordinairement bleuâtre. Sa couleur varie du reste avec la nature des électrodes ; suivant qu'on emploie des tiges de zinc, d'argent ou de platine, l'arc est bleu, vert ou rouge.

La forme et les dimensions de l'arc peuvent aussi changer, suivant qu'on le produit dans le vide ou dans une atmosphère gazeuse. La forme des électrodes influe également : entre deux points, on obtient un arc ovoïde ; entre une pointe et un disque, la lueur est conique.

Dans le vide, le charbon positif se creuse en forme de cratère, tandis que le charbon négatif prend la forme d'une pointe ; cette différence est due à ce qu'il y a des particules de charbon transportées dans les deux sens, mais surtout dans le sens du courant, c'est-à-dire du charbon positif au négatif. Si l'on opère dans l'air, les deux charbons brûlent, mais le charbon positif se consume environ deux fois plus vite que l'autre. Il est évident que, si l'on prend comme générateur, au lieu d'une pile ou d'une

machine dynamo-électrique à courants continus, une machine à courants alternatifs, les charbons s'useront également.

Si l'on interrompt le courant pendant un instant, l'arc ne se rallume que si l'interruption a été extrêmement courte, par exemple inférieure à 0",05. Si elle dure plus longtemps, les charbons se refroidissent assez pour faire disparaître les conditions qui correspondent à la production de l'arc. Dans le cas d'une interruption très courte, l'arc se rallume même si le courant change de sens, ce qui permet l'emploi des alternateurs. Lorsqu'on emploie ces machines, la lumière est aussi fixe qu'avec les courants continus, mais elle produit un bourdonnement dont la hauteur dépend du nombre des interruptions, en général 160 environ par seconde. L'éclat des charbons passe alors par des maxima et des minima, et chacun d'eux devient à son tour plus brillant quand il est positif.

La température de l'arc est assez élevée pour fondre la plupart des matières réfractaires, même le platine; on ne peut donc obtenir un arc durable ~~qu'avec~~ des électrodes de charbon. Pour l'éclairage, il est préférable de relier le charbon supérieur au pôle positif.

84. Force électromotrice de l'arc. — Edlund, et après lui plusieurs autres savants, ont constaté que la différence de potentiel entre les deux charbons n'est pas proportionnelle à l'intensité du courant et à la résistance de l'arc, comme cela a lieu dans un fil métallique traversé par un courant. Cette différence se compose au contraire de deux termes dont l'un varie proportionnellement à ces quantités, tandis que l'autre reste constant. On a donc, pour cette différence de potentiel,

$$E = E' + IR$$

I étant l'intensité du courant et R la résistance de l'arc. L'arc crée donc une *force contre-électromotrice* E' en sens inverse de celle de la source. Cette force est d'environ 30 volts, et la différence de potentiel nécessaire E varie de 30 à 70 volts. Ce fait explique l'impossibilité d'obtenir l'arc voltaïque avec une pile de force électromotrice trop faible, quelle que soit d'ailleurs l'intensité.

85. Travail de l'arc. — Comme, d'un autre côté, il faut au moins une intensité de 5 ampères pour entretenir un arc voltaïque, on voit que la puissance minima nécessaire est de

$30 \times 5 = 150$ watts. Pour avoir une intensité lumineuse d'environ 100 carcels, il faut une intensité de 15 ampères et une différence de potentiel de 50 volts, ce qui fait une puissance de $15 \times 50 = 750$ watts, c'est-à-dire environ un cheval. La résistance de l'arc diminue à mesure que l'intensité du courant augmente; d'après M. Preece, elle serait de 2 oh,77 pour une intensité de 10 ampères, de 1 oh,07 pour une intensité de 21 amp,5 et de 0 oh,54 pour une intensité de 30 amp,12. L'intensité lumineuse augmente beaucoup plus vite que l'énergie dépensée; les foyers intenses sont donc relativement les plus économiques.

86. Éclairement produit par l'arc voltaïque dans les différentes directions. — M. Fontaine a déterminé l'éclairement produit par l'arc voltaïque dans les différentes directions du plan vertical. Ces résultats sont représentés par la *fig. 42*. Lorsque l'arc est alimenté par des courants alternatifs, la lumière se distribue symétriquement par rapport à l'horizontale, sur laquelle elle est maxima; c'est ce que montre la courbe *a*, construite en portant sur chaque rayon vecteur une longueur proportionnelle à l'intensité dans cette direction. Avec le courant

continu, il n'en est plus de même. Si le charbon supérieur est positif, la lumière, dont la plus grande partie est fournie par le cratère de ce charbon, se trouve rejetée vers le bas; le maximum correspond à une direction voisine de 40° , et l'intensité est nulle sur la verticale (courbe A). Le tableau suivant représente cette dernière distribution, l'intensité maxima étant prise arbitrairement égale à 1 000; le signe — indique les directions situées au-dessus du plan horizontal.

Direction	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

Les deux courbes correspondent, d'après M. Fontaine, à une même dépense d'énergie mécanique pour l'entretien du courant.

Les cercles pointillés *s* et *S* ont des aires res-

pectivement égales à celles des deux courbes α et Λ et représentent, par conséquent, les in-

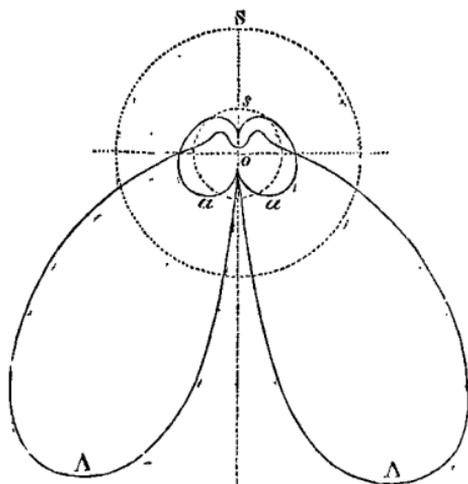


Fig. 42. — Répartition de la lumière de l'arc dans un plan vertical.

tensités moyennes de la lumière dans les deux cas.

87. Charbons. — Davy, qui fit le premier l'expérience de l'arc voltaïque, se servait de baguettes de charbon de bois éteint dans l'eau ou le mercure, qui brûlaient régulièrement et avec un bel éclat. Ces baguettes s'usaient trop vite pour pouvoir servir à un usage industriel. Foucault réalisa un grand progrès en les remplaçant par des bâtons de charbon de cornue, beaucoup

plus denses et s'usant bien moins vite. Cette substance, qui fut longtemps employée, présente cependant encore de graves inconvénients. Sa composition n'étant pas homogène, elle s'use souvent d'une façon irrégulière, en produisant des variations de lumière assez grandes, et peut même parfois éclater. Les variations d'éclat sont dues à la présence de matières étrangères et notamment de silice qui, moins fixes que le charbon, se vaporisent et forment une flamme qui entoure l'arc.

On a cherché à purifier les charbons de corne en plaçant d'abord les baguettes taillées dans un bain d'alcali qu'on porte au rouge, afin de transformer la silice en silicate fusible de potasse ou de soude. On les lave ensuite à l'eau bouillante, puis on les introduit dans des tubes de porcelaine chauffés au rouge, et dans lesquels on fait passer un courant de chlore, qui transforme en chlorures volatils les oxydes de fer, de silicium, de sodium, de potassium, etc. Les résultats obtenus avec ces charbons étaient un peu meilleurs.

Les charbons les plus employés actuellement en Europe sont les charbons agglomérés de Carré et de Gauduin.

M. Carré prépare une pâte formée de 50 par-

ties de coke bien pur en poudre, 20 parties de noir de fumée calciné et 30 parties d'un sirop de sucre et de gomme. Ce mélange, comprimé à l'aide d'une presse, traverse une filière qui lui donne la forme cylindrique et le diamètre convenable; puis on le coupe à la longueur voulue.

Les baguettes sont alors placées horizontalement dans un creuset de fonte, sur un lit de coke en poudre; on superpose ainsi plusieurs rangées, séparées par des feuilles de papier, et l'on recouvre d'un couvercle. On chauffe ensuite au rouge cerise pendant au moins quatre ou cinq heures, dans un four à plusieurs étages.

Les charbons sont alors plongés dans un sirop bouillant de sucre ou de caramel, en laissant refroidir plusieurs fois, pour que le sirop pénètre dans les pores, puis ils sont soumis à un certain nombre de cuissons, séparées par autant d'immersions dans le sirop de sucre. A chaque nouvelle cuisson, on les descend d'un étage, le four ayant autant d'étages qu'on veut faire de cuissons. Enfin les charbons sont séchés, d'abord lentement, puis dans une étuve dont la température est élevée peu à peu jusqu'à 80°. Cette série d'opérations constitue le *nourrissage*; elle sert à augmenter l'homogénéité des crayons.

Il existe plusieurs autres procédés analogues. M. Gauduin obtient un charbon compact en décomposant par la chaleur des brais secs ; ce charbon est réduit en poudre impalpable, puis aggloméré à l'aide des carbures d'hydrogène obtenus dans la distillation du brai. Mais la préparation de ces charbons est fort longue, ce qui les empêche de lutter facilement contre les précédents.

On peut rendre l'arc plus fixe et plus régulier en employant, au pôle positif seulement, un charbon dans lequel on a pratiqué, en le passant à la filière, un trou axial, qu'on remplit avec une substance appelée *mèche*, plus conductrice que le charbon, et qui donne un cratère plus régulier ; l'emploi de ces charbons comme crayons positifs est à peu près général aujourd'hui.

En Amérique, on fabrique les charbons avec du coke de pétrole et on les comprime dans des châssis plats, au lieu de les passer à la filière. Dans le même pays, on se sert beaucoup, pour l'éclairage public, de charbons recouverts d'un dépôt galvanique de cuivre ou de nickel, ce qui augmente leur conductibilité et leur durée. Mais l'éclat et la couleur sont moins fixes, ce qui leur fait préférer en Europe les charbons nus.

CHAPITRE XII

—

LES LAMPES A ARC

88. Lampes à arc ou régulateurs. — Abandonné à lui-même, l'arc ne tarderait pas à s'éteindre, la combustion des charbons augmentant rapidement sa longueur et par suite sa résistance. Les régulateurs ont pour but de rapprocher automatiquement ces charbons et de les maintenir à une distance convenable, suivant l'intensité du courant, ce qui permet d'assurer l'éclairage pendant un temps notable; certains modèles remédient aussi à l'usure inégale des charbons et maintiennent le point lumineux à une hauteur fixe. Un bon régulateur doit satisfaire aux conditions suivantes : les charbons restent au contact quand le circuit est ouvert, s'écartent à la distance voulue dès que le courant passe, se rapprochent ou s'éloignent sui-

vant les variations d'intensité, et reviennent au contact pour rétablir le courant s'il se trouve par hasard interrompu.

Il existe actuellement une telle quantité de régulateurs qu'il nous est impossible d'essayer de les décrire tous. Il est même difficile d'établir une classification de tous ces modèles. Cependant on les divise quelquefois en régulateurs *monophotes* et *polyphotes*. Les premiers sont ceux dont le système d'éclairage est tel qu'on ne peut placer qu'un seul appareil en tension sur un circuit électrique. Les régulateurs polyphotes permettent au contraire de placer plusieurs foyers en tension sur un même circuit.

89. Modes d'excitation des régulateurs.

— Au point de vue de l'excitation, les régulateurs peuvent être en série, en dérivation ou différentiels. Dans les premiers, l'électro-aimant qui commande le mécanisme est monté en série avec les charbons, et reçoit, par conséquent, tout le courant ; on ne peut donc placer sur un circuit qu'un seul de ces appareils, car, s'il y en avait plusieurs, l'extinction de l'un d'eux entraînerait nécessairement celle des autres ; ce sont les régulateurs *monophotes* ; on les

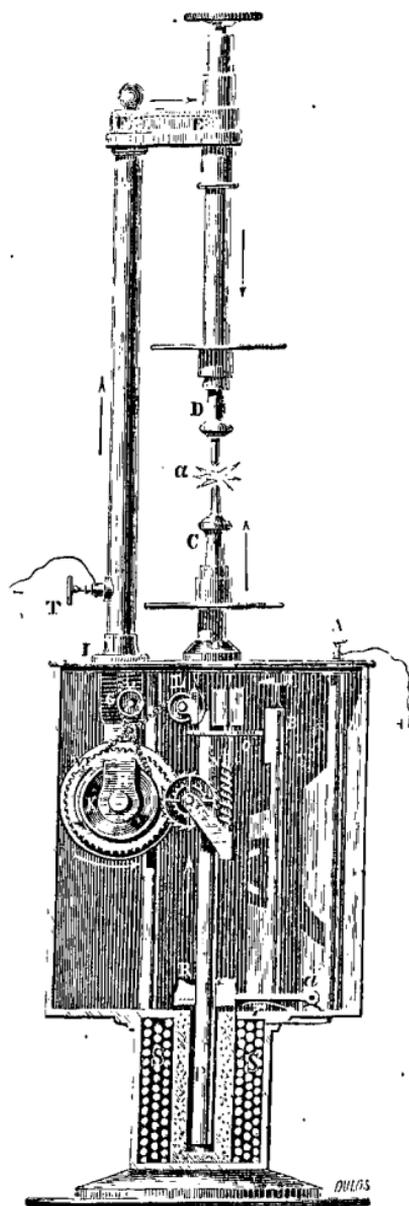
emploie peu aujourd'hui. Dans les seconds, l'électro-aimant reçoit seulement une dérivation du courant de l'arc ; enfin, les régulateurs différentiels possèdent deux électros, placés l'un en série, l'autre en dérivation.

Ces deux systèmes sont polyphotes.

90. Régulateurs en série. — Les premiers régulateurs qui furent construits étaient montés en série ; tels sont ceux de Foucault et de Serin. On trouve encore quelques modèles présentant cette disposition.

91. Régulateur de Foucault. — Foucault inventa, en 1849, le premier régulateur, qui fut depuis perfectionné par Duboscq. Le courant arrive par *Aa* (*fig.* 43) à une bobine *SS'*, renfermant un noyau de fer doux creux, remonte en *I*, se rend au charbon *C*, et retourne à la source par *DEFT*.

En *H* se trouve un barillet avec ressort d'horlogerie, qui tend à entraîner dans le sens des flèches deux tambours concentriques ; l'un de ces tambours porte une corde *KGFE*, qui soutient le charbon supérieur ; l'autre supporte, au moyen de la corde *VL*, le charbon positif, qui est muni d'un contrepoids *P*. Quand le système



g. 43. — Régulateur Foucault-Duboscq.
· L'Éclairage électrique

se met à tourner, les deux charbons se rapprochent, mais en se déplaçant de quantités inégales, les tambours étant de diamètres différents. On règle ces diamètres de façon à compenser l'usure inégale des deux charbons.

D'un autre côté, le barillet engrène avec le pignon M, qui commande la vis sans fin N et la roue dentée horizontale O. Cette dernière roue est enrayée par un couteau B, qui termine l'une des branches d'un levier coudé BaR, mobile autour de a ; l'autre branche porte en R une plaque annulaire de fer doux, formant l'armature de l'électro-aimant SS'; r est un ressort antagoniste.

Quand le courant possède son intensité normale, l'armature R obéit à l'attraction de l'électro, et le couteau B arrête le mécanisme; lorsque l'intensité vient à faiblir, le couteau s'écarte sous l'influence du ressort r ; les tambours se mettent à tourner et obligent les charbons à se rapprocher jusqu'à ce que le courant ait repris sa valeur normale. Le régulateur Foucault est encore employé fréquemment dans les théâtres, pour les effets de scène, ainsi que dans les laboratoires; mais, comme il est assez délicat et un peu susceptible de dérangement, il a été abandonné pour l'éclairage.

92. Régulateur Bardon, modèle 1891. —

Le régulateur Bardon, imaginé en 1888, a subi depuis des modifications importantes. Le modèle 1891 (*fig. 44*) peut être excité en tension. Dans ce cas, le solénoïde B, qui forme l'organe essentiel de l'appareil, porte un seul enroulement, formé d'un gros fil, et placé en série avec les charbons; cet enroulement est représenté par le trait gras.

Dans l'axe du solénoïde B se trouvent toujours deux noyaux de fer doux, l'un fixe N, l'autre mobile N'. Lorsque le solénoïde devient actif, le noyau N', attiré, fait basculer, par l'intermédiaire de la tige N'O', le levier mn, qui tourne autour du point o et vient faire frein en calant un volant V. Une cor-

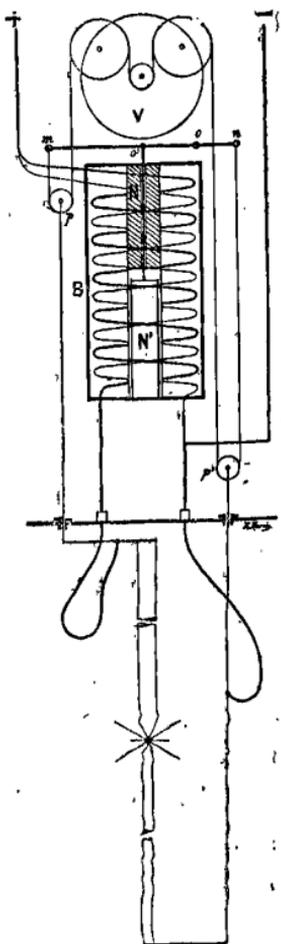


Fig. 44. — Régulateur Bardon, modèle 1891.

delette de soie, dont les extrémités sont fixées en m et n , passe sur la gorge d'un petit moyeu solidaire du volant et soutient, à l'aide de galets de mouflage, les deux porte-charbons pp' .

Le porte charbon supérieur est le plus lourd et sert de moteur. Sollicités par son poids, les deux charbons, au repos, se rapprochent et restent en contact. Si l'on ferme le circuit, le noyau N' est attiré et le levier mn vient, en se soulevant, caler le volant V . Ce déplacement de mn soulève le charbon supérieur en p , abaisse le charbon inférieur en n et produit l'allumage.

La lampe étant allumée, l'intensité diminue à mesure que les charbons s'usent; la pression du frein devient plus faible et le volant glisse d'une manière continue, permettant aux charbons de se rapprocher sans cesse et insensiblement, pour maintenir l'arc à sa grandeur normale.

Ainsi excitées, les lampes Bardon se montent seules, chacune d'elles étant en dérivation sur un circuit spécial de 65 à 70 volts.

93. Régulateurs en dérivation. — Ces régulateurs n'ont qu'un électro-aimant, placé en dérivation sur l'arc, et qui ne sert qu'à produire

le contact des charbons au moment de l'allumage et leur rapprochement pendant la marche. L'écartement, soit au repos, soit en marche, est produit par la pesanteur ou par un mécanisme. L'électro maintient constante la différence de potentiel entre les deux charbons, ce qui est nécessaire lorsque plusieurs arcs sont embrochés sur le même circuit. Les appareils de ce système sont peu nombreux.

94. Régulateur Brianne. — Cette lampe est en dérivation ; son mécanisme est extrêmement simple. Le charbon inférieur est fixe ; le charbon supérieur (*fig. 45*) est porté par une crémaillère C, qui engrène avec un petit pignon denté P, monté sur l'axe d'un volant.

Ce volant engrène à son tour avec un secteur denté R, mobile autour d'un axe horizontal, autour duquel tourne également une tige portant une lame de fer doux, en forme d'arc de cercle, qui peut pénétrer dans un solénoïde S, monté en dérivation sur les bornes de la lampe. Une tige à ressort, reliée au secteur denté, permet de l'écarter et de libérer le porte-charbon supérieur, pour le remonter et l'abaisser quand on remplace les charbons.

Quand la lampe n'est pas en service, la pa-

lette repose sur la tête d'une vis, non figurée, qui est fixée dans la base de la boîte du mécanisme, et qui lui sert de support ; par suite, la

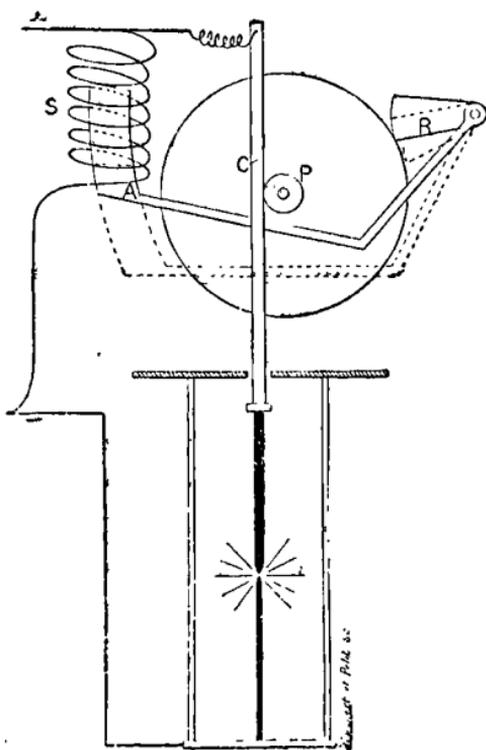


Fig. 45. — Régulateur Briante.

crémaillère C est soulevée et les charbons se trouvent écartés. Le courant passe donc d'abord tout entier par le solénoïde [S, qui attire la

palette; le secteur R, le volant et le pignon P se mettent à tourner, et la crémaillère C s'abaisse jusqu'à ce que les deux charbons se touchent. Le solénoïde, se trouvant alors en court circuit, cesse d'attirer la palette, qui, en retombant, fait mouvoir les pièces dentées : les charbons s'écartent et l'arc s'allume. L'intensité augmente de nouveau dans le solénoïde et l'équilibre s'établit. La grande inertie des pièces rend ces mouvements lents.

Le réglage se fait en modifiant la position relative du secteur et de la tige de la palette. Lorsque l'arc présente la longueur convenable, le secteur denté cesse d'engrener avec le volant ; toutes les 20 secondes environ, il laisse échapper une dent, ce qui correspond à un rapprochement de 0,15 millimètre.

Le montage de ces lampes en tension a été étudié par M. J. Laffargue, à l'usine des Halles ; montées par 4 en tension sur 240 volts, à courant continu, et par 3 sur 105 volts, à courants alternatifs, avec une intensité de 14 ampères, elles ont donné de bons résultats. D'autres essais, effectués à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, ont également réussi.

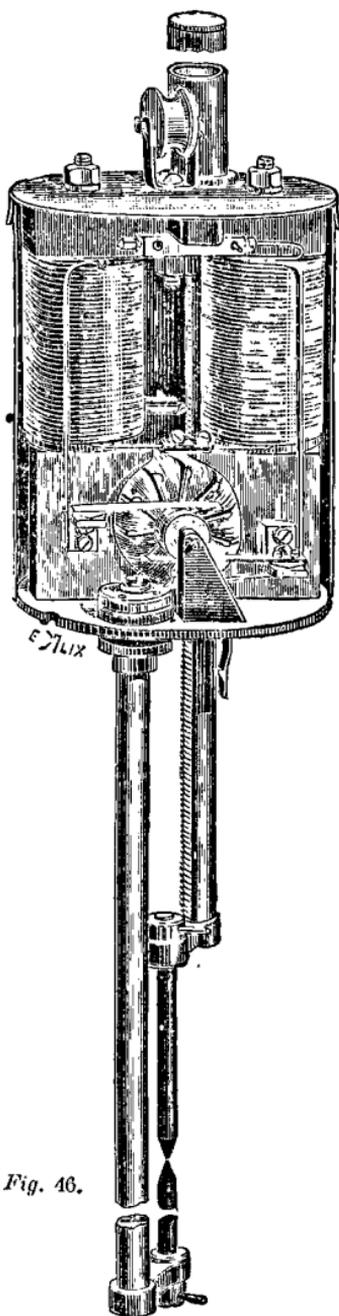


Fig. 46.

95. Régulateur dynamo Bréguet. Dans un certain nombre de lampes en dérivation, le solénoïde est remplacé par une petite dynamo, qui commande le déplacement des charbons. MM. Edison, Gray, Tchikoleff, etc., ont imaginé des modèles de ce genre.

La maison Bréguet construit également une lampe dont le charbon inférieur est fixe, et le charbon supérieur commandé par une petite machine de Gramme (*fig. 46*). L'axe de la bobine porte un pignon denté qui engrène avec la crémaillère du charbon supérieur; celle-ci, par son poids, tend à faire tourner l'anneau mobile dans un certain sens, tandis que les

communications sont établies de manière à faire tourner l'anneau en sens contraire lorsqu'il est traversé par le courant. On conçoit donc la possibilité d'obtenir une position d'équilibre du système pour un certain écart des charbons; c'est la position pour laquelle l'effort développé par l'anneau est égal au poids de la crémaillère. Si les charbons s'écartent, l'intensité du courant diminue; le poids de la crémaillère l'emporte et fait tourner l'anneau de manière à rapprocher les charbons. Si l'intensité devenait trop grande, ce serait l'action électrodynamique qui l'emporterait et la bobine tournerait en sens contraire, de manière à faire remonter la crémaillère. Ces appareils sont généralement construits pour un fonctionnement ininterrompu de sept à huit heures. On obtient des durées plus longues avec des appareils construits spécialement dans ce but et portant plusieurs paires de charbons placées parallèlement et montées en dérivation. L'arc passe successivement de l'une à l'autre aussitôt que l'augmentation d'écart, résultant de l'usure des charbons, détermine une résistance plus grande dans la paire en fonction. Ce régulateur est d'une construction éminemment simple et robuste. Il donne des intensités variant de 70 à 250 carrels.

96. Régulateur Bardon, modèle 1892. —

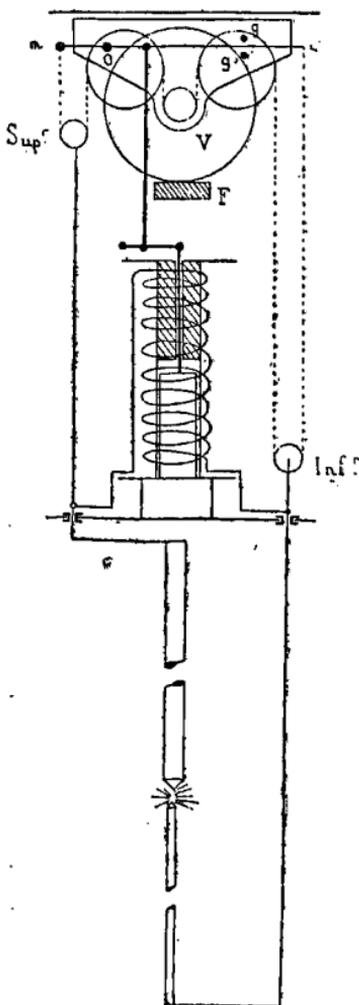


Fig. 47. — Régulateur Bardon à potentiel constant, modèle 1892

Ce modèle est excité en dérivation.

Le solénoïde porte un seul enroulement en fil fin, monté en dérivation aux bornes de l'arc.

Les organes sont disposés à peu près comme dans le modèle déjà décrit; mais le volant est porté par une boîte mobile autour du point *O* (*fig. 47*), qui représente aussi l'axe de rotation du levier *mn*. La boîte à volant porte deux goupilles *g*, *g'*, servant de butées à ce levier. Le frein est fixe; le grand bras du levier *On* soutient le porte-charbon inférieur.

Au repos, la boîte à volant s'abaisse, sollicitée par son poids et par celui du porte-charbon inférieur, qui vient s'appuyer sur elle par l'intermédiaire de la goupille g' ; le volant se trouve calé sur le frein et les charbons restent écartés. Si on ferme le circuit, le noyau mobile soulève l'extrémité n du levier, ce qui élève le charbon inférieur; puis le levier atteint la goupille g et soulève la boîte à volant. Le volant n'étant plus calé, les charbons viennent au contact. A ce moment, le courant passe entièrement par les charbons, et, la bobine n'étant plus actionnée, tout le système redescend: le volant vient d'abord reposer sur le frein et immobilise les charbons, puis le levier On , continuant à s'abaisser, produit l'allumage par le recul du charbon inférieur.

Les charbons s'usant, le voltage aux bornes s'accroît. L'attraction de la bobine augmente; l'extrémité n du levier se soulève et vient toucher la goupille g ; le volant commence alors à glisser d'une manière continue. D'ailleurs il reste toujours un recul disponible, car le levier On peut à tout instant descendre jusqu'à la goupille g' en abaissant le charbon inférieur.

Les régulateurs de ce modèle sont généralement montés en série par grand nombre, 30, 40 ou

50 par exemple. Ils sont réglés pour 40 ou 42 volts.

97. Régulateur Wilbrant. — Cette lampe, employée en Belgique depuis 1892, est d'une construction extrêmement simple.

Le réglage est produit par l'électro-aimant tubulaire A (*fig. 48*), monté en dérivation, et

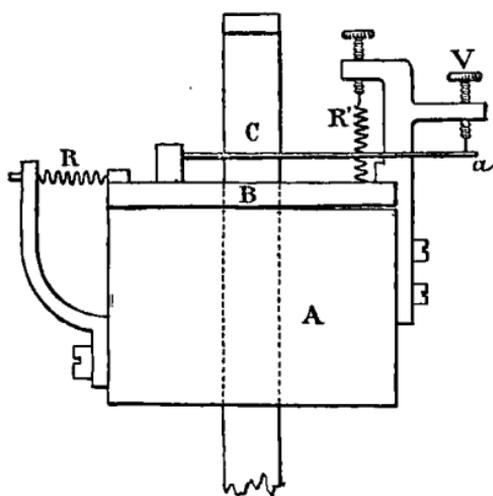


Fig. 48. — Mécanisme régulateur de la lampe Wilbrant.

dont le noyau est percé d'un trou que traverse le porte-charbon supérieur C. L'armature dis-coïde B est également percée d'un trou pour laisser passer ce porte-charbon ; mais elle est soulevée par le ressort R et exerce sur la tige C

un frottement assez considérable pour l'empêcher de descendre. Cette armature porte en outre une lame flexible, réglée par un ressort R' et agissant comme l'interrupteur automatique d'une sonnerie.

Lorsque l'intensité augmente dans la dérivation, l'armature B, attirée, s'abaisse et laisse descendre d'une petite quantité la tige C, entraînée par son poids; en même temps, la dérivation se trouve coupée au contact de a avec la pointe de la vis V et l'armature remonte aussitôt, sans ramener la tige C. Il se produit ainsi une série d'oscillations de l'armature, accompagnées d'un petit bruit sec et régulier, jusqu'à ce que les charbons aient repris leur distance normale. Les vibrations de l'armature sont limitées par un butoir. L'appareil fonctionne aussi bien avec 2 ampères qu'avec 10.

La lampe Wilbrant donne de bons résultats, bien que l'électro-allumeur et l'électro-régulateur soient tous deux en fonte; ce dernier est sensible à des variations d'une fraction de volt.

98. Régulateurs différentiels. — Dans ces appareils, l'action de la pesanteur ou du mécanisme antagoniste, qui écartait les charbons dans les lampes précédentes, est remplacée par

celle d'un second électro, à fil gros et court, placé en série avec l'arc ; le premier électro, qui est disposé en dérivation, est à fil long et fin. Lorsque l'appareil fonctionne dans des conditions normales, les actions des deux solénoïdes se font équilibre. Si la résistance de l'arc augmente, l'intensité croît dans la dérivation, ce qui produit un rapprochement des charbons. Si cette résistance est trop faible, l'intensité augmente dans le solénoïde à gros fil, qui produit un écartement.

Un tel système devrait suffire à assurer le fonctionnement de la lampe ; mais, comme il est impossible d'obtenir un réglage parfait, on est obligé d'ajouter d'autres organes faciles à manœuvrer, tels que ressorts, freins, etc., qui établissent quelques différences entre les divers modèles.

99. Régulateur Siemens. — C'est à Siemens qu'on doit la première lampe différentielle, dont la *fig. 49* représente les parties essentielles : B est le solénoïde à fil fin, B' celui à gros fil ; le courant principal passe par AB' *d*, traverse les charbons *c*, *c'*, et retourne à la source par C ; la dérivation se fait par ABC. Entre les deux électros se déplace un barreau de fer doux *b*, porté

par un levier mobile autour de *d*, et qui commande en réalité le rapprochement des charbons

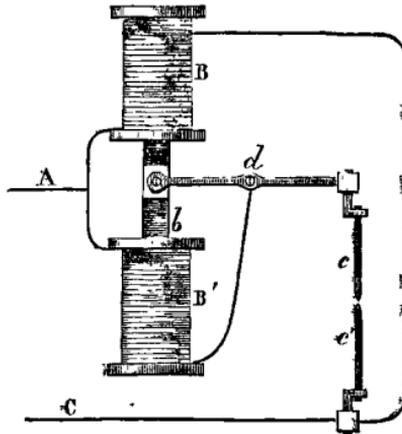


Fig. 49. — Principe du régulateur Siemens.

par l'intermédiaire d'un mécanisme. La position du barreau *b* varie avec le rapport des intensités du courant dans les deux électros. Quand l'intensité en *B'* est trop grande, le barreau *b* s'abaisse, et les charbons s'écartent. Si la résistance augmente, le barreau est attiré par *B* et déclenche le mécanisme qui fait rapprocher les charbons.

100. Régulateur Gramme. — M. Gramme a imaginé, en 1861, un régulateur différentiel dont les organes sont d'une simplicité et d'une

rusticité remarquables. La *fig. 50* représente la disposition actuelle.

Un électro-aimant A, à fil gros et court, sert à éloigner les charbons; l'électro-aimant B, à fil

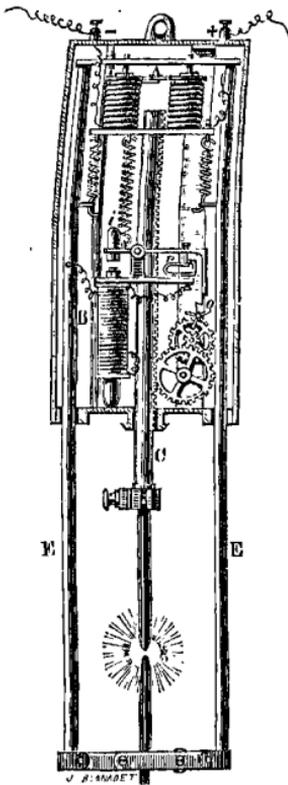


Fig. 50. — Régulateur Gramme.

long et fin, sert à les rapprocher. Le premier est embroché dans le circuit principal, le second est en dérivation. L'armature du premier, placée au-dessus de lui, supporte un cadre EE qui porte le charbon inférieur. Deux ressorts antagonistes, fixés d'une part à la culasse de l'électro-aimant, d'autre part aux tiges EE, soulèvent le cadre et l'armature et maintiennent les charbons en contact lorsque le courant ne passe pas.

Lorsque le courant traverse l'appareil, l'électro A attire son armature, les charbons s'écartent et l'arc jaillit. Quand l'écart devient trop grand,

l'intensité diminué dans le circuit principal ; mais, la résistance de l'arc augmentant, l'électro-aimant B, à fil fin, qui ne recevait d'abord qu'une dérivation insignifiante, reçoit une fraction du courant de plus en plus grande et devient capable d'attirer l'armature i , qui est portée par un levier mobile autour d'un axe horizontal. Ce levier bascule et son autre extrémité abandonne un petit volant étoilé, qu'elle maintenait immobile, et qui dépend d'un rouage, dont la première roue engrène avec la tige C du charbon supérieur, taillée en crémaillère. Le volant étant libre, cette tige descend par son poids, en faisant défiler le rouage.

Mais, pour assurer la stabilité de l'arc, il ne faut pas que le charbon supérieur descende trop vite. Pour cela, l'électro-aimant B communique avec un ressort r , sur lequel appuie une vis portée par le levier horizontal. C'est par ces pièces que l'électro reçoit le courant. Or, dès que cet électro attire l'armature i , la vis se soulève, tandis que le ressort r est arrêté bientôt par la butée qu'on voit à droite au-dessus de lui. La dérivation est alors ouverte, le levier horizontal retombe et arrête de nouveau le volant étoilé ; le charbon supérieur cesse donc de descendre.

Si l'écart est encore trop grand, les mêmes

mouvements se reproduisent ; mais l'équilibre n'est jamais rompu pendant plus d'une seconde, et le foyer est d'une régularité parfaite. .

Les régulateurs Gramme se construisent en trois numéros, donnant un éclairage de 25 à 500 carcels.

Pour éviter le bruit de l'encliquetage, M. Gramme a remplacé, pour l'éclairage intérieur, le volant étoilé et la lame d'embrayage par un petit frein agissant sur une roue lisse.

101. Régulateur Cance. — La lampe Cance, qui date de 1881, a été plusieurs fois modifiée depuis l'origine.

Dans le modèle 1892, le mouvement des charbons et des mécanismes est produit par le poids du porte-charbon supérieur A. Les deux porte-charbons sont suspendus à des cordelettes de soie C_1, C_2 , enroulées dans les filets à gorge d'un tambour vertical T, qu'on voit à gauche (*fig. 51*) et qui est divisé en deux parties présentant des diamètres dont l'un est double de l'autre. Ces cordelettes passent ensuite sur deux poulies B_1, B_2 , et s'engagent dans deux tubes creux pour aboutir aux porte-charbons. Le sens de l'enroulement est tel que, si le tambour vient à tourner, les deux charbons se meuvent en sens contraire,

et la différence des diamètres maintient le point lumineux fixe.

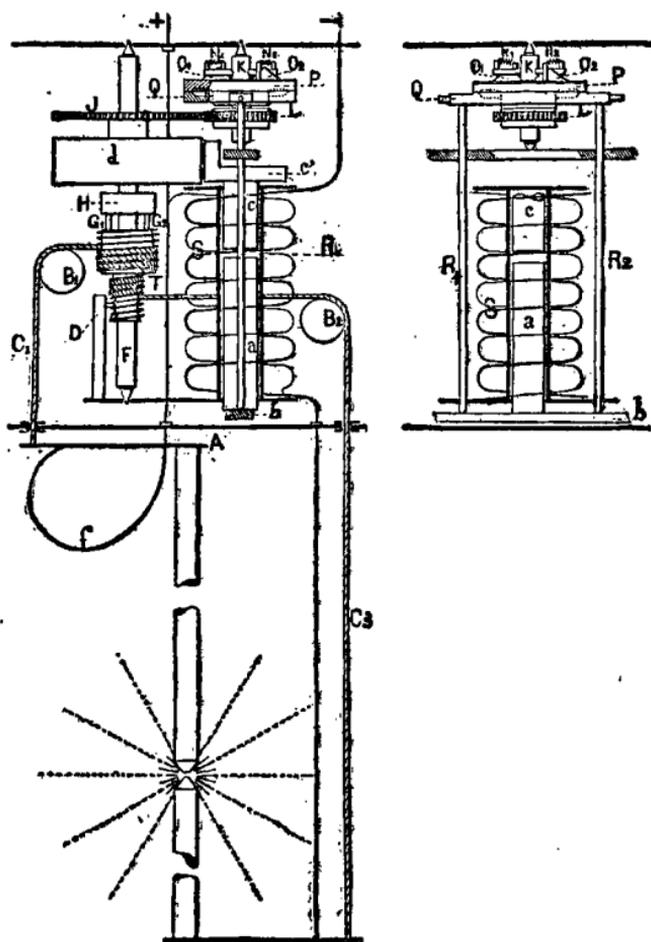


Fig. 51. — Régulateur Cance, modèle 1892.

L'axe du tambour porte, vers sa partie supé-

rière, une roue dentée J, qui engrène avec un pignon L calé sur un autre arbre K. Cet arbre porte un plateau allumeur-régulateur P, au-dessous duquel se trouve un plateau-frein annulaire à bras Q, reposant sur les tiges R_1, R_2 . L'arbre K porte une goupille transversale M, adhérant constamment, au moyen des ressorts N_1, N_2 , sur les cônes O_1, O_2 , faisant partie du plateau P, qui peut recevoir un mouvement vertical sur son arbre.

Le solénoïde S porte deux enroulements ; l'un, en gros fil, reçoit le courant principal, qui arrive par la borne positive et traverse d'abord le conducteur fixe e , le conducteur souple f , puis les deux charbons ; l'autre enroulement, en fil fin, est placé en dérivation sur les deux bornes de la lampe. Ce solénoïde renferme un noyau fixe c et un noyau mobile a , solidaire des tiges $R_1 R_2$.

Au repos, les charbons sont au contact : le plateau P repose sur l'assiette du pignon L et le plateau Q sur les tiges $R_1 R_2$. Dès que le courant passe, le noyau a s'élève, entraînant les tiges R_1, R_2 ; le plateau frein, soulevé, s'applique contre le plateau allumeur P et l'entraîne ; ce dernier mouvement fait tourner d'un certain angle la goupille M, qui entraîne l'arbre K, le pignon L, la roue J et le tambour T ; celui-ci enroule légè-

rement la cordelette C_1 et déroule C_3 , ce qui produit un léger écart des charbons et par suite l'allumage.

L'arc s'allongeant, le noyau a tend à redescendre ; il arrive un moment où l'adhérence des deux plateaux est assez faible pour permettre un léger glissement du plateau régulateur, ce qui laisse les deux charbons se rapprocher d'une petite quantité ; l'intensité du courant augmente à son tour et l'adhérence des plateaux arrête ce rapprochement. Ces effets d'adhérence variable se répètent constamment et maintiennent constant l'écart des charbons.

En outre, le volant de fonte d , présentant une partie de sa périphérie à l'épanouissement polaire du noyau fixe c , constitue un frein magnétique dont la puissance varie, comme celle du frein mécanique, en fonction de l'intensité du courant, de sorte que les deux effets s'ajoutent. D'autre part, l'inertie de ce volant s'oppose à une remise en marche trop rapide provenant d'une action trop immédiate de la pesanteur.

Dans ce nouveau modèle, le *boisseau* de la lampe, c'est-à-dire la partie qui renferme le mécanisme, est de hauteur très réduite, ce qui permet de rapprocher le point lumineux du point de suspension et se prête mieux à l'ornementation

extérieure. La durée de l'éclairage peut s'élever à 16 ou 18 heures. Ce régulateur est très employé.

102. Régulateur différentiel Bardou. — Nous avons vu plus haut que le régulateur Bardou peut être excité en série et se monte alors en dérivation. Ce montage en dérivation est celui qui se prête le mieux au réglage, mais il est plus économique de placer un certain nombre de régulateurs : 2, 5, 10..., en série. Il est à craindre alors que, les lampes les plus sensibles se réglant d'abord, leurs charbons se rapprochent jusqu'au collage, tandis que l'arc des autres régulateurs deviendrait de plus en plus grand.

Pour éviter cet inconvénient, on dispose sur le solénoïde un second enroulement différentiel en fil fin, branché en dérivation aux bornes de l'arc et agissant sur les noyaux en sens inverse de l'enroulement principal ; ce second enroulement est représenté par le trait fin (*fig. 44*).

Plus l'arc d'une lampe tend à s'allonger, plus l'intensité croît dans l'enroulement différentiel, qui neutralise de plus en plus l'action du gros fil et facilite le décalage du volant. Si la lampe tend à coller, le fil fin ne reçoit qu'une faible intensité et, le gros fil gardant toute sa puissance, le volant est immobilisé.

103. Régulateur E. Thomson. — La lampe Thomson, modèle 93, pour circuits à poten-

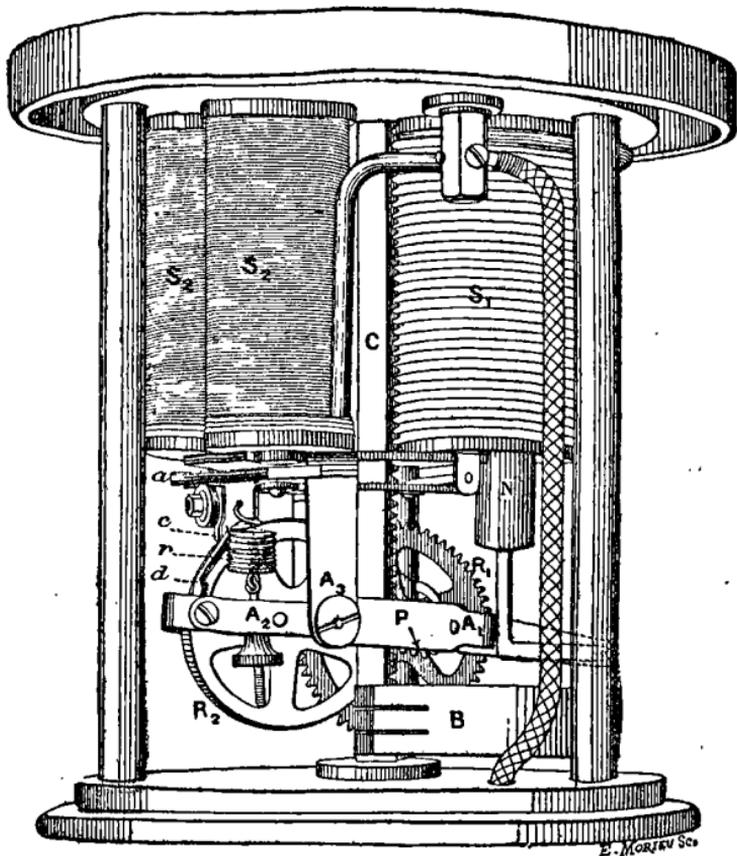


Fig. 52. — Mécanisme de la lampe E. Thomson 93.

tiel constant, comprend un mécanisme robuste, dont toutes les pièces sont faciles à inspecter, à nettoyer et à changer. Un cadre métallique

(fig. 52), pouvant osciller légèrement autour de l'axe A_3 , situé en son milieu, porte deux autres axes A_1 et A_2 . Sur le premier de ces deux axes sont calés un pignon P, engrenant avec une tige à crémaillère C, parfaitement guidée, qui porte le charbon supérieur, et une roue dentée R_1 , commandant un second pignon, fixé à l'axe A_2 , ainsi qu'une roue R_2 , munie d'une fine denture en argent. Le cadre est également relié avec un noyau de fer N, qui pénètre dans un solénoïde S_1 à gros fil; l'action de cet organe provoque le mouvement d'oscillation.

Le cadre porte encore un ressort à tension réglable r , accroché d'autre part à l'armature de fer doux a d'un électro-aimant à fil fin S_2 ; à cette armature est fixé un cliquet d'arrêt en argent c , engrenant avec la roue R_2 et servant d'interrupteur, car il est monté en circuit avec cette roue et l'électro à fil fin.

L'une des bornes étant à la masse, le courant est amené au porte-charbon supérieur par un balai fixé au bâti et pressant contre la crémaillère. Les charbons étant en contact, au moment de l'allumage, le courant principal traverse le solénoïde S_1 , qui attire le noyau N et élève la partie antérieure du cadre. Ce mouvement détermine l'écart des charbons et la formation de

l'arc. En même temps, l'autre partie du cadre s'abaisse, tend le ressort r et attire l'armature a , dont le cliquet enclenche la roue R_2 et empêche le mouvement de descente du charbon supérieur.

Quand la différence de potentiel aux bornes de l'arc devient assez grande pour que l'action du solénoïde à fil fin soit prédominante, l'armature a se soulève légèrement, laissant tourner le train de minuterie et descendre le porte-charbon ; mais, la dérivation se trouvant interrompue en c , l'armature est ramenée aussitôt par le ressort r et ce mouvement s'arrête. La descente se produit ainsi par une série de petites impulsions jusqu'à ce que l'équilibre soit obtenu.

Au repos, le cadre soulève l'armature a au moyen d'un doigt d en laiton ; le cliquet c est dégagé et l'on peut faire mouvoir à volonté le porte-charbon supérieur.

CHAPITRE XIII

—

LES BOUGIES ÉLECTRIQUES

104. Principe des bougies électriques. — Les bougies constituent un troisième procédé d'éclairage par l'électricité ; elles ont été imaginées par Jablochhoff en 1876.

La bougie électrique est une sorte de régulateur, qui produit un petit arc voltaïque sans exiger aucun mécanisme ; les charbons sont placés parallèlement au lieu d'être sur le prolongement l'un de l'autre, de sorte que leur usure n'augmente pas la longueur de l'arc. Mais le point lumineux s'abaisse à mesure qu'ils se consomment, comme dans une bougie ; de là le nom de ces appareils.

105. Bougie Jablochhoff. — La bougie Jablochhoff est formée (*fig. 53*) de deux baguettes

de charbon parallèles, *a* et *b*, séparées par une couche de matière isolante, appelée *colombin*, qui est un mélange de plâtre et de sulfate de baryte ; ces baguettes sont reliées à la partie supérieure par un petit fil conducteur *c*, qui est brûlé et remplacé par un petit arc voltaïque dès qu'on fait passer le courant. On alimente les bougies électriques à l'aide de machines à courants alternatifs, afin d'éviter l'usure inégale des deux charbons.

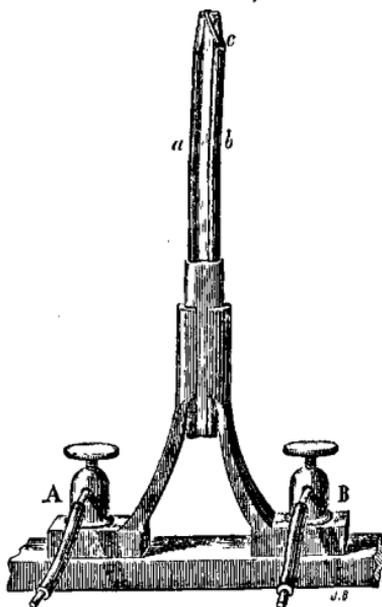


Fig. 53. — Bougie Jablochkoff.

Le colombin sert à maintenir l'arc à la partie supérieure de l'appareil ; en outre, il fond peu à peu et augmente l'intensité lumineuse ; enfin, si l'arc vient à s'éteindre, il reste rouge pendant quelques instants et permet le rallumage automatique, si le courant reprend au bout d'un temps inférieur à deux secondes environ.

Chaque bougie ne durant qu'une heure et demie, on en dispose un nombre suffisant dans un globe dépoli qui cache le mécanisme ; lorsque l'une des bougies est consumée, un dispositif spécial fait passer automatiquement le courant dans une autre.

106. Avantages et inconvénients des bougies électriques — La découverte des bougies a exercé une grande influence sur le développement de la lumière électrique, car elles se prêtent très bien à l'éclairage des grands espaces et permettent, mieux que l'arc voltaïque, de diviser la lumière.

En outre, elles ont l'avantage, dans le cas de l'éclairage intérieur, d'occuper une hauteur moindre que les lampes à arc. Les bougies semblaient donc, pour ces motifs, destinées à prendre une grande extension : mais cette prévision ne s'est pas réalisée, car elles offrent des inconvénients assez graves.

D'abord elles s'éteignent quelquefois et se rallument alors très difficilement. La couleur de la lumière change avec la nature de l'isolant : pour une même bougie, on observe même, pendant la marche, des variations fréquentes de couleur et aussi d'intensité, qui sont très fati-

gantes pour l'œil, en même temps que l'emploi des courants alternatifs produit un bourdonnement très désagréable pour l'oreille. Enfin l'énergie dépensée est un peu plus grande qu'avec les régulateurs à courants alternatifs : le voltage nécessaire est de 42 à 43 volts, tandis qu'avec les régulateurs il est seulement de 35 à 40.

CHAPITRE XIV

COMPARAISON DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE AVEC LES AUTRES MODES D'ÉCLAIRAGE

107. Avantages de la lumière électrique.

— La lumière électrique possède de nombreux avantages : il en est tout d'abord un qu'on ne peut nier, c'est l'intensité. Lorsqu'on a besoin de foyers lumineux d'une très grande puissance, l'arc voltaïque fournit incontestablement le mode d'éclairage le plus économique. Il est même bien des cas où aucune source ne pourrait le remplacer et donner une intensité aussi grande. Aussi convient-il tout particulièrement à l'éclairage des grands espaces, libres ou couverts, des chantiers de construction, des ports, des travaux agricoles, etc. Il est bon de multiplier les foyers, afin d'éviter les ombres portées trop nettes et les pe-

tites irrégularités provenant des charbons ou des mécanismes.

De plus, l'éclairage électrique est celui qui, à lumière égale, dégage le moins de chaleur : il l'emporte de beaucoup à ce point de vue sur les autres procédés ; c'est là une qualité précieuse dans un grand nombre d'applications.

Ainsi, les lampes à arc dégagent par heure, pour une intensité de 100 candles, 60 calories et les lampes à incandescence 300 calories. Dans les mêmes conditions, les autres sources donnent :

Bec d'Argand	4 860 calories
Bec Manchester	12 150 //
Lampe Carcel	4 200 //

L'éclairage électrique l'emporte encore au point de vue hygiénique, comme le montrent les quantités de gaz carbonique dégagées par heure pour 100 candles :

Lampe Carcel.	0m ³ ,61
Bec Manchester	1m ³ ,14
Bec d'Argand.	0m ³ ,46
Lampe à arc	0m ³ ,003

Cette différence provient de ce que la combustion du charbon n'est, dans cette dernière source, qu'un phénomène accessoire.

Quant aux lampes à incandescence, il est évi-

dent que, grâce à l'ampoule qui les entoure, elles ne consomment aucune portion de l'oxygène ambiant et ne produisent pas la plus petite quantité d'anhydride carbonique. Elles ont donc l'avantage inappréciable de ne pas vicier l'atmosphère, même lorsqu'elles sont en très grand nombre, de n'y répandre ni fumée ni odeur désagréable, et aussi de ne pas salir les mobiliers et les tentures, comme le font souvent l'huile ou la bougie.

C'est là une grande supériorité sur l'éclairage au gaz, car un bec de gaz de 120 litres consomme, d'après M. Mascart, autant d'oxygène que dix personnes adultes. Il résulte de là que, dans les salles de théâtre ou de réunion, où l'on peut avoir souvent environ un bec par personne, l'air est aussi appauvri par l'éclairage que si le nombre des spectateurs se trouvait décuplé ; en outre, la combustion du gaz peut donner de l'acétylène et d'autres produits délétères.

L'amélioration des conditions hygiéniques facilite le travail cérébral aussi bien que le travail manuel. D'après M. Preece, la substitution de l'électricité au gaz à la Savings Bank de Londres, qui compte 1 200 employés, a diminué le nombre des absences pour maladie dans une telle proportion que l'augmentation de travail

fournie par le personnel compense l'accroissement des frais d'éclairage.

L'éclairage électrique supprime aussi presque complètement les dangers d'incendie, d'explosion et d'accidents de toute sorte, qui sont si fréquents avec l'emploi des allumettes, du gaz, du pétrole, de l'essence minérale ; la facilité de l'allumage constitue encore une grande supériorité.

On a parfois reproché à l'arc voltaïque sa couleur blafarde. En réalité, c'est là un simple effet de contraste : cette lumière se rapproche beaucoup plus que les autres de la lumière solaire et altère beaucoup moins les couleurs des objets. D'ailleurs, les lampes à incandescence présentent une teinte plus jaune et parfaitement agréable à l'œil.

Les lampes à arc ont l'inconvénient d'être compliquées et d'exiger qu'on les nettoie et qu'on change les charbons tous les jours. Les lampes à incandescence n'ont pas ce défaut, mais elles consomment beaucoup plus d'énergie et se prêtent moins facilement à l'éclairage public.

En résumé, les avantages de la lumière électrique sont assez sérieux pour compenser dans bien des cas une augmentation de dépense. Ainsi que le disait M. Preece, en 1886 : « Si nous mettons en regard de ce supplément de dépense

la valeur d'une lumière fixe, de la pureté de l'air, de la suppression de la chaleur, des allumettes, de la bougie et de l'huile, le bien-être des gens, la conservation des peintures, des motifs de décoration et des livres, la propreté, la gaieté, la santé, la prolongation de l'existence, il n'y a pas à chercher de quel côté doit pencher la balance ».

108. Rendement optique. — La lumière électrique l'emporte aussi sur les autres sources au point de vue du rendement optique. Parmi les radiations qu'émet un foyer lumineux, une partie seulement impressionne la rétine; les autres sont obscures et ne possèdent que la propriété calorifique; il est évident que les premières sont seules utiles pour l'éclairage et donnent le rendement optique.

On peut déterminer ce rendement par une ingénieuse méthode due à Tyndall; on place la source dans un calorimètre en cuivre, formé de deux enveloppes concentriques, entre lesquelles on fait passer un courant d'eau, dont on mesure la température à l'entrée et à la sortie. On connaît ainsi la chaleur dégagée par la source dans l'unité de temps. Si l'on recommence l'expérience avec un calorimètre à parois de verre, les radiations lumineuses s'échappent, et l'on me-

sure seulement la puissance des radiations obscures. En divisant la différence des deux nombres par le premier, on a le rendement optique.

C'est par cette méthode qu'on a obtenu les résultats suivants :

Bougie	0,00293
Pétrole	0,00315
Gaz	0,00317
Huile.	0,00442
Incandescence électrique.	0,06
Arc voltaïque.	0,10
Tube de Geissler	0,33

On voit que les foyers électriques l'emportent de beaucoup, à ce point de vue, sur les sources alimentées par une combustion; cependant, même avec l'arc électrique, qui donne le meilleur rendement, la plus grande partie des radiations émises est sans utilité pour l'éclairage. Si l'on tient compte en outre des pertes dues à la canalisation, aux dynamos et surtout aux moteurs, on voit qu'une bien petite partie seulement de l'énergie dépensée sous forme de combustible est transformée en lumière.

109. Prix de revient de l'éclairage électrique. — Le prix de revient de l'électricité dans les stations centrales est encore très variable : il dépend évidemment des conditions : nature du

moteur employé, nombre de lampes en service, durée moyenne d'allumage. Ainsi, le prix de l'énergie mécanique peut s'abaisser à 0^{fr},05 par cheval-heure dans les usines où l'on dispose d'un excédent de force motrice, tandis qu'il s'élève à 0^{fr},10 ou 0^{fr},30, lorsqu'on est obligé d'installer un moteur spécial dans une installation privée.

Dans les gares de chemins de fer, l'hectowatt-heure revient, d'après MM. E. Sartiaux et Weissenbruch, y compris les frais généraux et d'entretien, à

0 ^{fr} ,120	pour	500 heures d'allumage par an			
0, 095	//	1 000	//	//	//
0, 075	//	1 500	//	//	//
0, 058	//	2 000	//	//	//
0, 042	//	3 000	//	//	//
0, 034	//	4 000	//	//	//

Les installations comparées contiennent de 3/4 à 70 régulateurs et de 30 à 940 lampes à incandescence. Aux États-Unis, M. Raymond a trouvé aussi environ 0^{fr},034 pour 4 000 heures en comparant 336 installations d'éclairage public.

D'après les nombres qui précèdent, l'éclairage par incandescence est moins coûteux que l'éclairage au gaz (compté à 0^{fr},18 le mètre cube), lorsqu'on dépasse 3 250 heures d'allumage par an. A partir de 2 000 heures par an, l'éclairage par

régulateurs l'emporte sur l'éclairage par les becs à gaz les plus récents : pour soutenir la comparaison, le gaz devrait être compté à 0^{fr},07 pour 2 000 heures et à moins de 0^{fr},05 pour 3 000 heures.

D'après M. H. Maréchal, le prix de l'hectowatt-heure à Paris, dans l'usine même, varie de 0^{fr},015 ou 0^{fr},0175 à 0^{fr},03. A l'usine municipale des Halles, il s'est abaissé progressivement de 0^{fr},059 à 0^{fr},028. A la gare d'Orléans, où l'on a la facilité d'amener le combustible dans les wagons jusqu'aux chaudières mêmes, le prix s'abaisse à 0^{fr},021.

En tenant compte des frais généraux, des frais d'exploitation, d'amortissement, etc., le prix de revient de l'électricité distribuée s'élève à 0^{fr},104 l'hectowatt-heure, dans le secteur de la place Clichy.

L'énergie électrique peut être vendue à forfait ou au compteur.

L'abonnement à forfait convient d'abord à l'éclairage public, pour lequel la durée d'allumage est parfaitement fixée d'avance ; il peut s'appliquer aussi aux installations dont les machines ne fonctionnent que pendant la soirée et qui n'ont pas de batteries d'accumulateurs. Lorsque les consommateurs disposent de l'énergie

électrique à toute heure du jour, l'abonnement au compteur est généralement préférable.

En France et sur le continent, le prix moyen de l'hectowatt-heure est d'environ 0^{fr},10 ; en Angleterre, où le combustible est meilleur marché, ce prix s'abaisse à 0^{fr},08 à Londres et à 0^{fr},046 à Newcastle.

La consommation varie, suivant les lampes, de 4 à 10 watts par carcel ou par 10 bougies. Le prix de vente de l'hectowatt-heure varie de 0^{fr},04 à 0^{fr},12 ; il est actuellement, à Paris, de 0^{fr},11. En adoptant 0^{fr},04, la carcel-heure coûte avec les régulateurs, d'après M. Galine, 0^{fr},0044, rapportée à l'intensité sphérique avec globe, et 0^{fr},0015, rapportée à l'intensité maxima avec globe. Au prix de 0^{fr},11, ces chiffres deviennent 0^{fr},0121 et 0^{fr},0042.

Les lampes à incandescence consomment, en moyenne, 3,5 watts par bougie ou 35 watts par carcel, ce qui donne, pour la carcel-heure, 0^{fr},038 au prix de 0^{fr},11, et 0^{fr},014, si l'on adopte le prix de 0^{fr},04.

Les exemples suivants, empruntés à M. Eric Gérard, donnent une idée du prix moyen de l'éclairage électrique :

1° LAMPE A INCANDESCENCE DE 16 BOUGIES
(50 WATTS)

Prix de l'énergie (à 0 ^{fr} ,08 l'hectowatt-heure).	0 ^{fr} ,0400
Intérêt et amortissement à 10 % sur 25 fr., représentant le prix de l'installation inté- rieure par lampe, pour 700 heures d'allu- mage, soit par heure	0, 0036
Renouvellement de la lampe coûtant 3 fr. et fonctionnant 1 000 heures	0, 0030
Par lampe et par heure	<u>0^{fr},0466</u>

2° RÉGULATEUR DE 8 AMPÈRES

Prix de l'énergie (440 watts).	0 ^{fr} ,352
Intérêt et amortissement à 10 % sur 200 fr., représentant le prix de la lampe et sa quote- part d'installation, pour 700 heures d'allu- mage	0, 029
Mise en place et usure des charbons.	0, 050
Par lampe et par heure	<u>0^{fr},431</u>

Enfin le tableau suivant, donné par M. Galine, permet de comparer les prix des principaux systèmes d'éclairage (1).

(1) Voir *Éclairage au gaz*.

184 COMPARAISON DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

PRIX DES PRINCIPAUX SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE

Nature de la source	Prix de la carcel-heure
Huile de colza à 1 fr. 30 le kilogramme	0fr,0585
Pétrole à 0 fr. 40 le kilogramme	0, 0120
Gaz à 0 fr. 30 le mètre cube	{ Becs ordinaires de 110 litres . . . 0, 0330 { Becs à récupération de 50 litres . . 0, 0150 { Becs à incandescence de 26 litres. . 0, 0078
Électricité à 0 fr. 30	{ Arc, intensité sphérique . } avec 0, 0121 { Arc, intensité maxima . } globe. 0, 0042
l'hectowatt-heure	Incandescence. 0, 0380

On voit donc que l'éclairage par arc voltaïque est devenu aujourd'hui l'un des plus économiques; l'éclairage par incandescence est plus coûteux; mais, si on fait entrer en ligne de compte les avantages énumérés plus haut, il est évident qu'on devra, dans la plupart des cas, lui donner la préférence.

BIBLIOGRAPHIE

- DELAHAYE. — *L'Éclairage dans la ville et dans la maison*. Paris, 1886.
- H. FONTAINE. — *Éclairage à l'électricité; renseignements pratiques*. Paris, 1888.
- BUSE. — *Nos éclairages : électricité, gaz, pétrole*. Gand, 1892.
- GALINE. — *Traité général d'éclairage*. Paris, 1894.
- H. MARÉCHAL. — *L'Éclairage à Paris*. Paris, 1894.
- L. MONTILLOT. — *L'Éclairage électrique, générateurs, foyers, distribution, applications*. Paris, 1894.
- ERIC GÉRARD. — *Leçons sur l'électricité*. Paris, 1895.
- J. LEFÈVRE. — *L'Électricité au théâtre*. Paris, 1894.
- *Dictionnaire d'Électricité*. Paris, 1895.
- *L'Électricité à la maison*. Paris, 1895.
- POTIER. — *L'Électricité industrielle à l'Exposition de 1889*. Paris.
- BLONDEL. — *L'Éclairage public par les lampes à arc (Extrait du Génie civil)*. Paris, 1895.
- PH. HOUEL. — *Éclairage d'ateliers par l'électricité*. Paris.

- S. MAISONNEUVE. — *La lumière électrique et ses applications*. Paris.
- E. CAHEN. — *Manuel pratique d'éclairage électrique pour installations particulières, maisons d'habitation, usines, salles de réunion, etc.* Paris.
- G. FOURNIER et P. JUPPONT. — *L'Éclairage électrique dans les appartements*. Paris.
- D'URBANITZKY. — *Les lampes électriques et leurs accessoires* (édition française par G. Fournier). Paris, 1896.
- F. MIRON. — *L'Éclairage électrique; traité pratique de montage et de conduite des installations d'éclairage électrique*. Paris, 1896.
- Instructions générales de la Chambre syndicale des Industries électriques pour l'exécution des installations électriques à l'intérieur des maisons.*
- Ordonnance du Préfet de police concernant l'emploi de la lumière électrique dans les théâtres, cafés-concerts et autres spectacles publics*, 17 avril 1888.
- Arrêté du Préfet de la Seine concernant la pose et l'exploitation des canalisations d'électricité*; 30 juillet 1891.
- Cahier des charges, type des Sociétés d'électricité*, adopté par délibération du Conseil municipal de Paris, en date des 29 décembre 1888 et 25 février 1889.
- Voir aussi les collections de *l'Électricien*, *la Lumière électrique*, *l'Éclairage électrique*, *l'Industrie électrique*, etc.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE	5

CHAPITRE PREMIER

<i>Production des courants continus</i>	9
1. Production de l'électricité	9
2. Piles électriques	10
3. Pile de Bunsen	10
4. Pile au bichromate de potasse.	12
5. Pile de Lalande et Chaperon	14
6. Piles à écoulement.	16
7. Dynamos à courants continus :	16
8. Collecteur	20
9. Force électromotrice d'une machine	21
10. Variations du courant.	22
11. Calage des balais	22
12. Pertes d'énergie.	23
13. Diverses formes d'induits	24
14. Divers modes d'excitation	25
15. Principaux types de dynamos.	27

CHAPITRE II

<i>Production des courants alternatifs.</i>	32
16. Alternateurs	32
17. Alternateurs à induit muni de noyaux.	33

	Pages
18. Alternateurs à induit sans fer.	36
19. Excitation des alternateurs	39
20. Couplage des alternateurs	40
21. Définitions relatives aux courants alternatifs.	43
22. Courants polyphasés	44
23. Production des courants polyphasés	45

CHAPITRE III

<i>Propriétés des machines électriques.</i>	48
24. Caractéristique des machines d'induction .	48
25. Machines à excitatrice	48
26. Machines auto-excitatrices	51
27. Influence de la vitesse.	53
28. Influence du nombre des spires de l'induit .	55
29. Influence de la résistance	55
30. Différence de potentiel entre deux points. .	56
31. Caractéristique externe	57
32. Caractéristique d'une machine à double exci- tation	58

CHAPITRE IV

<i>Stations centrales</i>	61
33. Composition d'une usine centrale	61
34. Machines à vapeur	62
35. Turbo-générateurs	64
36. Moteurs à gaz et à pétrole	66
37. Tableaux de distribution.	68

CHAPITRE V

	Pages
<i>Distribution directe de l'électricité</i>	71
38. Divers modes de distribution	71
39. Distribution en série ou à intensité constante	71
40. Distribution en dérivation ou à potentiel constant.	72
41. Distribution en boucle	74
42. Câbles coniques parallèles et antiparallèles	75
43. Distribution par feeders	76
44. Distribution mixte	76
45. Distribution à trois fils	77
46. Distribution à trois fils avec une seule dynamo	79
47. Emploi d'un transformateur tournant	81
48. Distributions à fils multiples	82
49. Distribution par courants polyphasés	83

CHAPITRE VI

<i>Distribution indirecte de l'électricité</i>	87
50. Divers modes de distribution indirecte.	87
51. Transformateurs.	87
52. Distribution par transformateurs isolés	89
53. Distribution par sous-stations de transformateurs	91
54. Accumulateurs au plomb.	91
55. Accumulateurs aux oxydes de plomb	94
56. Emploi des accumulateurs	95
57. Distribution par accumulateurs	96

CHAPITRE VII

	Pages
<i>Choix des machines et du système de distribution</i>	98
58. Choix et réglage des dynamos	98
59. Choix d'un système de distribution	101

CHAPITRE VIII

<i>Canalisations</i>	105
60. Lignes et canalisations	105
61. Lignes aériennes.	106
62. Canalisations souterraines	107
63. Cas des courants alternatifs	108
64. Conducteurs placés à l'intérieur des édifices.	109
65. Conditions d'établissement d'une canalisation.	109

CHAPITRE IX

<i>Éclairage par incandescence</i>	112
66. Divers systèmes d'éclairage électrique	112
67. Éclairage par incandescence	113
68. Choix du filament	114
69. Température du filament de charbon	115
70. Dimensions des filaments de charbon	116
71. Dépense d'énergie dans les lampes	117
72. Rendement optique des lampes à incandescence	119
73. Durée des lampes à incandescence	120
74. Couleur de la lumière par incandescence.	120

CHAPITRE X

	Pages
<i>Les lampes à incandescence.</i>	121
75. Principe des lampes à incandescence . . .	121
76. Lampe Edison ; sa fabrication.	122
77. Lampe Swan	125
78. Lampe Lane-Fox.	126
79. Lampe Maxim	127
80. Lampe Cruto	128
81. Lampe Gérard	129
82. Lampe Bernstein	130

CHAPITRE XI

<i>Éclairage par l'arc voltaïque</i>	131
83. Arc voltaïque.	131
84. Force électromotrice de l'arc	135
85. Travail de l'arc	135
86. Eclairage produit par l'arc voltaïque dans les différentes directions	136
87. Charbons	138

CHAPITRE XII

<i>Les lampes à arc</i>	142
88. Lampes à arc ou régulateurs.	142
89. Divers modes d'excitation des régulateurs .	143
90. Régulateurs en série	144
91. Régulateur de Foucault.	144
92. Régulateur Bardou, modèle 1891	147
93. Régulateurs en dérivation.	148

	Pages
94. Régulateur Brianne	149
95. Régulateur dynamo Bréguet	152
96. Régulateur Bardou, modèle 1892	154
97. Régulateur Wilbrant.	156
98. Régulateurs différentiels	157
99. Régulateur Siemens	158
100. Régulateur Gramme	159
101. Régulateur Cance	162
102. Régulateur différentiel Bardou	166
103. Régulateur E. Thomson.	167

CHAPITRE XIII

<i>Les bougies électriques</i>	170
104. Principe des bougies électriques	170
105. Bougie Jablochhoff	170
106. Avantages et inconvénients des bougies électriques.	172

CHAPITRE XIV

<i>Comparaison de l'éclairage électrique avec les autres modes d'éclairage</i>	174
107. Avantages de la lumière électrique	174
108. Rendement optique	178
109. Prix de revient de l'éclairage électrique.	179
BIBLIOGRAPHIE	185

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ
DE
MÉCANIQUE RATIONNELLE

PAR

PAUL APPELL,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT
SÉPARÉMENT :

- TOME I : Statique. Dynamique du point, avec 178 figures; 1893..... 16 fr.
TOME II : Dynamique des systèmes. Mécanique analytique, avec 99 figures;
1896..... 16 fr.
TOME III : Hydrostatique. Hydrodynamique..... (*Sous presse.*)
-

Ce Traité est le résumé des Leçons que l'Auteur fait depuis plusieurs années à la Faculté des Sciences de Paris sur le programme de la Licence. Comme la Mécanique était, jusqu'à présent, à peine enseignée dans les Lycées, on ne suppose chez le lecteur aucune connaissance de cette science et l'on commence par l'exposition des notions préliminaires indispensables, théorie des vecteurs, cinématique du point et du corps solide, principes de la Mécanique, travail des forces. Vient ensuite la Mécanique proprement dite, divisée en Statique et Dynamique.

Ce qui fait le caractère distinctif de cet Ouvrage et ce qui justifiera la publication d'une nouvelle Mécanique rationnelle après tant d'autres excellents Traités, c'est l'introduction de la Mécanique analytique dans les commencements mêmes du Cours. Au lieu de reléguer les méthodes de Lagrange à la fin et d'en faire une exposition entièrement séparée, l'Auteur a essayé de les introduire dans le courant de l'Ouvrage.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE GÉOMÉTRIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

LEÇONS

SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE

DES SURFACES

ET LES

APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DU CALCUL INFINITÉSIMAL

PAR

GASTON DARBOUX,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

4 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I^{re} PARTIE : Généralités. Coordonnées curvilignes. Surfaces minima ; 1887... 15 fr.
II^e PARTIE : Les congruences et les équations linéaires aux dérivées partielles.
Des lignes tracées sur les surfaces ; 1889..... 15 fr.
III^e PARTIE : Lignes géodésiques et courbure géodésique. — Paramètres différentiels.
— Déformation des surfaces ; 1894..... 15 fr.
IV^e PARTIE : Déformation infiniment petite et représentation sphérique ; 1896. 15 fr.

RECUEIL COMPLÉMENTAIRE D'EXERCICES

SUR LE

CALCUL INFINITÉSIMAL

A L'USAGE DES CANDIDATS A LA LICENCE ET A L'AGRÉGATION
DES SCIENCES MATHÉMATIQUES,

Par M. F. TISSERAND.

Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris.

Avec de nouveaux Exercices sur les variables imaginaires,

Par M. PAINLEVÉ,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences.

(Cet Ouvrage forme une suite naturelle à l'excellent *Recueil d'Exercices*
de M. F. FRENET.)

2^e édition. In-8, avec figures ; 1896..... 9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS D'ASTRONOMIE

A L'USAGE

des Étudiants des Facultés des Sciences,

PAR

B. BAILLAUD,

Doyen honoraire de la Faculté des Sciences de Toulouse, Directeur de l'Observatoire.

2 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I^{re} PARTIE : Quelques théories applicables à l'étude des Sciences expérimentales. — Probabilités : erreurs des observations. — Instruments d'Optique. — Instruments d'Astronomie. — Calculs numériques, interpolations, avec 58 figures; 1893. 8 fr.

II^e PARTIE : Astronomie sphérique. Mouvements dans le système solaire. Éléments géographiques. Éclipses. Astronomie moderne, avec 72 figures; 1896. . . . 15 fr.

Le Tome II vient de paraître.

Nous avons voulu réunir, en un Livre aussi concis qu'il nous serait possible de le faire, les notions les plus immédiatement indispensables à l'étudiant qui veut apprendre l'Astronomie. Ce n'est pas un Traité complet que nous avons voulu écrire. Tout en espérant que ce Livre pourrait être utile à d'autres, nous avons eu spécialement en vue les étudiants des Facultés des Sciences, en particulier les candidats à la Licence, examen dont il nous a toujours paru nécessaire d'élargir le programme d'Astronomie. Nous n'avons pas hésité à introduire, dans un Livre destiné surtout à cette catégorie d'étudiants, les problèmes relatifs aux déterminations d'orbites, les éléments de la Mécanique céleste, les propositions les plus simples de la haute Géodésie qui, à notre avis, rentrent dans ce fonds commun de connaissances auquel correspond la Licence et offrent aux étudiants d'admirables exemples de l'application des méthodes de l'Algèbre et de l'Analyse.

Bien que nous ayons voulu surtout écrire un Livre de Mathématiques et non une Astronomie descriptive, ni un Traité de Physique céleste, nous avons cru indispensable d'indiquer rapidement les problèmes et les méthodes de l'Astronomie moderne et quelques-uns des résultats obtenus. Nous leur avons consacré le dernier Chapitre de ce Volume. Quelques-unes des questions qui y sont traitées auraient eu leur place marquée dans le premier Volume; quelques-unes même, comme la Spectroscopie, y avaient été signalées. Nous avons cru bon de les rassembler à la fin de l'Ouvrage, comme en un Chapitre complémentaire, afin de faire profiter le lecteur des derniers progrès accomplis.

B. B.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

TRAITÉ D'ANALYSE

PAR

ÉMILE PICARD,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

4 VOLUMES IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal. 1891..... 15 fr.

TOME II : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... 15 fr.

TOME III : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... 18 fr.

TOME IV : Équations aux dérivées partielles..... *(En préparation.)*

Le premier Volume commence par les parties les plus élémentaires du Calcul intégral et ne suppose chez le lecteur aucune autre connaissance que les éléments du Calcul différentiel, aujourd'hui classiques dans les Cours de Mathématiques spéciales. Dans la première Partie, l'Auteur expose les éléments du Calcul intégral, en insistant sur les notions d'intégrale curviligne et d'intégrale de surface, qui jouent un rôle si important en Physique mathématique. La seconde Partie traite d'abord de quelques applications de ces notions générales; au lieu de prendre des exemples sans intérêt, l'Auteur a préféré développer la théorie de l'équation de Laplace et les propriétés fondamentales du potentiel. On y trouvera ensuite l'étude de quelques développements en séries, particulièrement des séries trigonométriques. La troisième Partie est consacrée aux applications géométriques du Calcul infinitésimal.

Les Volumes suivants sont consacrés surtout à la théorie des équations différentielles à une ou plusieurs variables; mais elle est entièrement liée à plus d'une autre théorie qu'il est nécessaire d'approfondir. Pour ne citer qu'un exemple, l'étude préliminaire des fonctions algébriques est indispensable quand on veut s'occuper de certaines classes d'équations différentielles. L'Auteur ne se borne donc pas à l'étude des équations différentielles; ses recherches rayonnent autour de ces centres.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFOUDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.
3^e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{er} fascicule; Tome II, 1^{er} et 2^e fascicules; Tome III, 2^e fascicule.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TOME IV (2^e Partie). — **MAGNÉTISME; APPLICATIONS.** — 13 fr.

3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.

4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — **Chaleur. Acoustique. Optique**, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

**PREMIERS PRINCIPES
D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE**

PILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS, TRANSFORMATEURS,

Par M. Paul JANET.

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris,
Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

2^e ÉDITION, REVUE ET CORRIGÉE.

Un volume in-8, avec 173 figures; 1896..... 6 fr.

COURS ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Lois expérimentales et principes généraux. Introduction à l'Électrotechnique.
(Leçons professées à l'Institut industriel du Nord de la France).

Par M. Bernard BRUNHES,

Docteur ès Sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

Un volume in-8, avec 137 figures; 1895..... 5 fr.

MESURES ÉLECTRIQUES

LECONS PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE.

Par M. Éric GÉRARD,

Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore, Ingénieur principal des Télégraphes,
Professeur à l'Université de Liège.

Grand in-8, 450 pages, 198 figures; cartonné toile anglaise... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LES RADIATIONS NOUVELLES.

LES RAYONS X

ET LA PHOTOGRAPHIE A TRAVERS LES CORPS OPAQUES,

PAR

Ch.-Ed. GUILLAUME,

Docteur ès Sciences,

Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures.

DEUXIÈME ÉDITION.

UN VOLUME IN-8 DE VIII-144 PAGES, AVEC 23 FIGURES ET 8 PLANCHES;
1896..... 3 fr.

Les Rayons X sont toujours à l'ordre du jour et notre curiosité est loin d'être satisfaite à leur égard. La première édition de l'Ouvrage de *M. Ch.-Ed. Guillaume* a été épuisée en quelques jours. La deuxième, qui vient de paraître, sera bien accueillie des Physiciens et des Photographes. L'Auteur fait connaître en détail la genèse de cette merveilleuse découverte, ainsi que les résultats qu'on en a tirés. Il décrit minutieusement le manuel opératoire à employer pour obtenir des résultats satisfaisants. Cette brochure servira de guide aux opérateurs désireux d'arriver sans trop de tâtonnements à de bons résultats.

Le côté théorique de la question n'est point négligé, et M. Ch.-Ed. Guillaume a rappelé un grand nombre d'expériences antérieures, de « faits contingents » sans lesquels les nouveaux phénomènes resteraient isolés et incompréhensibles.

L'Ouvrage in-8°, de 144 pages, contient de nombreuses reproductions en photographie de clichés originaux obtenus par MM. J. Chappuis, V. Chabaud, Londe, Imbert et Bertin-Sans, qui ont bien voulu les prêter à l'Auteur. Un cliché de M. Troost, impressionné par de la blende, sans tube à vide, clôt la série.

L'ensemble forme un Volume qui intéressera tous ceux qui aiment à se « rendre compte » de ce qui se passe autour des *Rayons X*.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

EXERCICES DE PHYSIQUE

ET APPLICATIONS.

PRÉPARATOIRES A LA LICENCE.

Par **M. Aimé WITZ,**

Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

Un volume in-8, avec 114 figures ; 1889..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE,

Par M. Aimé WITZ,

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille,

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES ET AU CERTIFICAT DES ÉTUDES
PHYSIQUES, CHIMIQUES ET NATURELLES.

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 77 FIGURES; 1895. 5 FR.

Le succès de la première édition de cet Ouvrage, épuisé aujourd'hui et toujours demandé, a prouvé que sa rédaction convenait bien aux besoins des élèves: nous avons donc prié l'Auteur de donner une nouvelle édition de son Cours en conservant le mode d'exposition qu'il avait adopté, et qu'on avait tant apprécié. Le texte a été revu et soigneusement corrigé.

Mais les progrès de l'enseignement de la Physique ont été considérables en dix ans, et M. Witz nous a demandé d'enrichir son *Cours de Manipulations* d'un certain nombre d'exercices nouveaux: il fallait dès lors partager l'Ouvrage en deux Volumes. Le premier, plus élémentaire, est destiné aux candidats à certaines Ecoles et en particulier aux étudiants du Certificat des Études physiques, chimiques et naturelles; le second répond plus spécialement aux exigences de l'Enseignement supérieur et est destiné aux candidats à la Licence et à l'Aggrégation.

Le premier Volume a déjà reçu le meilleur accueil du public.

PRINCIPES

DE LA

THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES

ET APPLICATIONS,

PAR

P. APPELL,

Membre de l'Institut, Professeur
à la Faculté des Sciences.

E. LACOUR,

Professeur de Mathématiques spéciales
au Lycée Saint-Louis.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1896.

PRIX POUR LES SOUSCRIPTEURS..... 12 FR.

Un premier fascicule (208 pages) a paru.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE MACHINES A VAPEUR
DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,

Ingénieur de la Marine,
Ex-Professeur à l'École d'application
du Génie maritime.

Camille ROCHE,

Industriel,
Ancien Ingénieur de la Marine.

2 BEAUX VOLUMES, GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique théorique et applications. La machine à vapeur et les métaux qui y sont employés. Puissance des machines, diagrammes indicateurs. Freins. Dynamomètres. Calcul et dispositions des organes d'une machine à vapeur. Régulation, épures de détente et de régulation. Théorie des mécanismes de distribution, détente et changement de marche. Condensation, alimentation. Pompes de service. — Volume de XI-604 pages, avec 412 figures; 1895..... 20 fr.

TOME II : Forces d'inertie. Moments moteurs. Volants régulateurs. Description et classification des machines. Machines marines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints et presse-étoupes. Montage des machines et essais des moteurs. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction. Servo-moteurs. Tables numériques. — Volume de IV-560 pages, avec 281 figures; 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ingénieur principal du Service central
de la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ingénieur, Inspecteur principal
de l'Atelier central des chemins de fer
du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX,

Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.).... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **M. C. BRICKA**,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

2 VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII-634 pages avec 326 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894..... 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **M. J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par **M. J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

2 VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferments des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894..... 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **M. A. GOUILLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉRAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533 PAGES, AVEC 411 FIG. ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)..... 12 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **M. A. CRONEAU**,

Ingénieur de la Marine,
Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

2 VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouvertures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. — Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages avec 359 fig.; 1894. 15 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par **Ernest HENRY**,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOL. GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.)... 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique économique de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS
TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-E^r. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par M. A. JOANNIS,

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

2 VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones.
Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides. Alcalis organiques. Amides. Nitriles.
Composés azoïques. Radicaux organométalliques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Matières alimentaires. (Sous presse.)

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par M. Georges LECHALAS,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

2 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÈMENT. (E. T. P.)

TOME I : Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principes
d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages
et occupations temporaires. — Volume de CXLVII-536 pages; 1889..... 20 fr.

TOME II (I^{re} PARTIE) : Participation des tiers aux dépenses des travaux publics.
Adjudications. Fouritures. Régie. Entreprises. Concessions. — Volume de VIII-
399 pages; 1893..... 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE
ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par M. Maurice D'OCAGNE,

Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, DE LXI-428 PAGES, AVEC 340 FIGURES; 1896
(E. T. P.)..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE PAR LES PROCÉDÉS PELLICULAIRES,

Par M. George BALAGNY, Membre de la Société française de Photographie,
Docteur en droit.

2 volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890.

On vend séparément :

TOME I : Généralités. Plaques souples. Théorie et pratique des trois développements au fer, à l'acide pyrogallique et à l'hydroquinone. 4 fr.

TOME II : Papiers pelliculaires. Applications générales des procédés pelliculaires. Phototypie. Contretypes. Transparents. 4 fr.

MANUEL DE PHOTOCHROMIE INTERFÉRENTIELLE.

Procédés de reproduction directe des couleurs; par M. A. BERTHIER.
In-18 jésus, avec figures; 1895. 3 fr. 50 c.

CE QU'IL FAUT SAVOIR POUR RÉUSSIR EN PHOTOGRAPHIE.

Par A. COURRÈGES, Praticien.

2^e édition, revue et augmentée. Petit in-8, avec 1 planche en photocollographie; 1896. 2 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens. 32 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches spécimens et 120 figures; 1886. 16 fr.

II^e PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions. Épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie, vocabulaire. Avec 2 planches spécimens et 114 figures; 1888. 16 fr.

Un supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux, est en préparation.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE.

Théorie et pratique ; par M. A.-L. DONNADIEU, Docteur ès Sciences,
Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

Grand in-8, avec Atlas de 20 planches stéréoscopiques en photocollographie ; 1892..... 9 fr.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par M. C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches ; 1889-1891... 48 fr.

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig. ; 1892. 14 fr.

Les 5 volumes se vendent ensemble..... 60 fr.

DICTIONNAIRE PRATIQUE DE CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE,

Contenant une *Étude méthodique des divers corps usités en Photographie*, précédé de *Notions usuelles de Chimie* et suivi d'une description détaillée des *Manipulations photographiques* ;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec figures ; 1892..... 8 fr.

LES POSITIFS SUR VERRE.

Théorie et pratique. Les Positifs pour projections. Stéréoscopes et vitraux. Méthodes opératoires. Coloriage et montage ;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec figures ; 1892..... 4 fr. 50 c.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances ;

Par M. H. FOURTIER.

2 vol. in-18 jésus.

TOME I. Les Appareils, avec 66 figures ; 1892..... 2 fr. 75 c.

TOME II. Les Accessoires. La Séance de projections, avec 67 fig. ; 1893. 2 fr. 75 c.

LES LUMIÈRES ARTIFICIELLES EN PHOTOGRAPHIE.

Étude méthodique et pratique des différentes sources artificielles de lumière, suivie de recherches inédites sur la puissance des photopoudres et des lampes au magnésium ;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec 19 figures et 8 planches ; 1895..... 4 fr. 50 c.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAIS.

In-18 jésus, avec 94 figures et 9 planches ; 1896..... 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE FORMULAIRE CLASSEUR, DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties : *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections ;

Par M. M. H. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série ; 1892..... 4 fr.
Deuxième Série ; 1894..... 3 fr. 50 c.

DICTIONNAIRE SYNONYMIQUE FRANÇAIS, ALLEMAND, ANGLAIS, ITALIEN ET LATIN DES MOTS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES EMPLOYÉS EN PHOTOGRAPHIE ;

Par M. ANTHONNY GUERRONNAN.

Grand in-8 ; 1895..... 5 fr.

L'ART PHOTOGRAPHIQUE DANS LE PAYSAGE.

Étude et pratique ;

Par HORSLEY-HINTON, — traduit de l'anglais par H. COLARD.

Grand in-8, avec 11 planches ; 1894..... 3 fr.

LES LEVERS PHOTOGRAPHIQUES ET LA PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

Par le Dr Gustave LE BON.

Deux volumes in-18 jésus, avec figures ; 1889..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Application de la Photographie aux levés des monuments et à la Topographie..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : Opérations complémentaires des levés topographiques... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE MÉDICALE.

Applications aux Sciences médicales et physiologiques ;

Par M. A. LONDE.

Grand in-8, avec 80 figures et 19 planches ; 1893..... 9 fr.

VIRAGES ET FIXAGES.

Traité historique, théorique et pratique ;

Par M. P. MERCIER,

Chimiste, Lauréat de l'École supérieure de Pharmacie de Paris.

2 volumes in-18 jésus ; 1892..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notice historique. Virages aux sels d'or..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : Virages aux divers métaux. Fixages..... 2 fr. 75 c.

LA LINOTYPIC.

ou *Art de décorer photographiquement les étoffes pour faire des écrans, des éventails, des paravents, etc., menus photographiques ;*

Par M. L. TRANCHANT, rédacteur en chef de la *Photographie*.

In-18 jésus ; 1896..... 1 fr. 25 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

**TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.**

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 105 figures; 1891..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Obtention des petits clichés; avec 52 figures..... 2 fr. 75

II^e PARTIE : Agrandissements; avec 53 figures..... 2 fr. 75 c.

LES ÉPREUVES POSITIVES SUR PAPIERS ÉMULSIONNÉS.

Papiers chlorurés. Papiers bromurés. Fabrication. Tirage et développement.
Virages. Formules diverses.

Par M. E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus; 1896..... 2 fr.

LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre;

Par M. Julius VERFASER.

Traduit de l'anglais par M. E. COUSIN, Secrétaire-agent de la Société
française de Photographie.

In-18 jésus, avec 56 figures et 3 planches; 1895..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Sélection photographique des couleurs primaires. Son application à l'exécution de clichés et de tirages propres à la production d'images polychromes à trois couleurs;

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec 10 figures et 5 planches en couleurs; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOLITHOGRAPHIE.

Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver.
Tours de main et formules diverses;

Par M. Léon VIDAL,

Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 25 fig., 2 planches et spécimens de papiers autographiques;
1893..... 6 fr. 50 c.

MANUEL PRATIQUE D'ORTHOCHROMATISME.

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec figures et 2 planches, dont une en photocollographie et un
spectre en couleur; 1891..... 2 fr. 75 c.

NOUVEAU GUIDE PRATIQUE DU PHOTOGRAPHE AMATEUR.

Par M. G. VIEUILLE.

3^e édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures;
1892..... 2 fr. 75 c.

5514 B. — Paris, Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Gr.-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n° 22.

EXTRAIT DU CATALOGUE

VIENT DE PARAÎTRE

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

Dirigée par le **Professeur PROUST**

Membre de l'Académie de Médecine, Inspecteur général des Services sanitaires
Médecin de l'Hôtel-Dieu.

Extrait de l'Introduction du Professeur Proust :

..... Des ouvrages importants ont été en France, depuis quelques années, consacrés à l'hygiène thérapeutique. Mais il n'existe pas encore de traité de thérapeutique hygiénique qui attribue un volume distinct à chacune des grandes maladies de la nutrition ou à chacune des grandes classes de maladies aiguës ou chroniques. C'est cette lacune que nous avons voulu combler.

Chacun des volumes de cette collection ne sera consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils seront d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il sera facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.....

..... L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie ; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

Les travaux relatifs à la genèse des maladies se sont tellement multipliés, la bibliographie internationale devient si considérable, qu'en médecine comme pour toutes les sciences appliquées, la division du travail s'impose comme une nécessité. C'est pourquoi nous n'avons pas voulu entreprendre seul la publication de cet ouvrage. Nous avons fait appel à plusieurs collaborateurs, dont la plupart ont été nos élèves. La besogne a donc pu être partagée et, tout naturellement, les sujets ont été distribués en tenant compte des travaux antérieurs et des prédictions de chacun.

L'unité dans l'ensemble sera assurée par notre direction et notre collaboration personnelle.....

Chaque volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
est vendu séparément. 4 francs.

(Voir aux pages suivantes le détail des volumes.)

VIENT DE PARAÎTRE

L'Hygiène du Goutteux

PAR

A. PROUSTMembre de l'Académie de Médecine
Médecin de l'Hôtel-Dieu.**A. MATHIEU**Médecin des Hôpitaux
de Paris.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-340 pages). 4 fr.

La goutte n'est-elle pas, de toutes les maladies chroniques, une de celles dans lesquelles l'hygiène peut être appelée à jouer un rôle prépondérant? L'oubli des règles de la sobriété, le surmenage nerveux, l'hérédité en sont les principaux facteurs pathogéniques. N'est-il pas démontré qu'il appartient à l'hygiène plus qu'à la thérapeutique d'en enrayer l'action et d'en corriger les effets? — Obligés de se prononcer entre ces doctrines séculaires et des théories trop récentes pour que l'expérience ait pu justifier leurs prétentions révolutionnaires, les auteurs ont pris parti pour la tradition clinique; l'observation peut seule, en effet, donner une réelle sanction aux hypothèses pathogéniques et aux pratiques thérapeutiques qui en dérivent.

VIENT DE PARAÎTRE

L'Hygiène des Asthmatiques

PAR

E. BRISSAUDProfesseur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-214 pages). 4 fr.

L'asthme vrai est une pure névrose, comme l'avait soutenu Avicenne, et il ne sera ici question que de celui-là, attendu que l'hygiène thérapeutique de l'asthme n'ayant d'unité qu'autant qu'elle vise une condition morbide définie, ses lois ne sont pas applicables aux pseudo-asthmes accidentels, syndromes variables et disparates. En résumé, l'hygiène des asthmatiques consiste surtout en une sorte de discipline fonctionnelle que chacun de nous peut et doit s'imposer; elle emprunte bien moins à la thérapeutique qu'à ce régime de vie ponctuel et mesuré qui assure le maximum de sécurité à un organisme en souffrance. Dans le programme qu'elle se propose, la part de collaboration du malade l'emporte sur celle du médecin.

VIENT DE PARAÎTRE

Hygiène

et

Thérapeutique thermales

PAR

G. DELFAU

Ancien interne des Hôpitaux de Paris.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-486 pages). 4 fr.

Ce serait une conception bien étroite et bien incomplète de ne voir dans une cure thermale que l'action de l'eau minérale elle-même : le climat, l'altitude, l'exposition de la localité, l'abandon momentané des affaires, des plaisirs ordinaires, du régime habituel, la vie au grand air, l'exercice, sans parler des agents annexes du traitement proprement dit, tels sont les principaux éléments adjuvants dont on sait de plus en plus apprécier l'action puissante, profonde et durable. A elles seules, ces quelques considérations suffisent pour rappeler que la cure thermale ressortit à la fois à la thérapeutique proprement dite et à l'hygiène, et encore plus à cette dernière telle qu'on tend de plus en plus à l'envisager aujourd'hui.

Le volume de M. Delfau est un véritable dictionnaire des Eaux minérales connues : il contient en effet des renseignements sur 358 stations de France et de l'Étranger, et, pour chacune, il donne des indications sur les voies d'accès, la situation, l'aspect général, l'altitude, le climat, la saison, les ressources, les établissements thermaux, les sources, leur débit, leur température, leurs particularités physiques, leurs modes d'emploi, leurs applications thérapeutiques, leur analyse et leur composition chimique. Indispensable aux médecins, pharmaciens et chimistes, ce livre sera consulté avec fruit par toutes les personnes qui fréquentent les villes d'eaux.

VOLUMES A PARAÎTRE ULTÉRIEUREMENT :

L'Hygiène des Obèses (Pr PROUST et Dr A. MATHIEU).*L'Hygiène du Syphilitique* (Dr BOURGES).*L'Hygiène du Neurasthénique* (Pr PROUST et Dr BALLET).*L'Hygiène des Dyspeptiques* (Dr LIÑOSSIÈRE).*L'Hygiène du Tuberculeux* (Dr DAREMBERG).*L'Hygiène des Albuminuriques* (Dr SPRINGER).*Hygiène thérapeutique des maladies du foie* (Dr HANOT).*Hygiène thérapeutique des maladies de la peau* (Dr BROCCQ).

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur de clinique chirurgicale
à la Faculté de Médecine de Paris
Membre de l'Académie de Médecine.

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté
de Médecine de Paris
Chirurgien des hôpitaux
Membre de la Société de chirurgie

PAR MM.

BERGER — BROCA — DELBET — DELENS — FORGUE
GÉRARD-MARCHANT — HARTMANN — HEYDENREICH
JALAGUIER — KIRMISSON — LAGRANGE — LEJARS
MICHAUX — NÉLATON — PEYROT — PONCET — POTHERAT
QUÉNU — RICARD — SEGOND — TUFFIER — WALTHER

8 volumes grand in-8° avec nombreuses figures. 150 fr.

Traité de Médecine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

CHARCOT

Prof^r de clinique des maladies nerveuses
à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BOUCHARD

Professeur de pathologie générale
à la Faculté de médecine de Paris
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

PAR MM.

BABINSKI — BALLEZ — P. BLOCQ — BOIX — BRAULT
CHANTEMESSE — CHARRIN — CHAUFFARD — COURTOIS-SUFFIT
DUTIL — GILBERT — L. GUINON — GEORGES GUINON
HALLION — LAMY — LE GENDRE — MARFAN — MARIE — MATHIEU
NETTER — OETTINGER — ANDRÉ PETIT
RICHARDIÈRE — ROGER — RUALT — SOUQUES — THIBIERGE
THOINOT — FERNAND WIDAL

6 volumes grand in-8° avec nombreuses figures. 125 fr.

*Traité de***Pathologie générale**

PUBLIÉ PAR

Ch. BOUCHARD

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION :

G.-H. ROGER

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

CONDITIONS DE LA PUBLICATION :

Le Traité de Pathologie générale sera publié en 6 volumes grand in-8°. Chaque volume comprendra environ 900 pages, avec nombreuses figures dans le texte. Les tomes I et II sont en vente. Les autres volumes seront publiés successivement et à des intervalles rapprochés.

Prix de la Souscription, 1^{er} octobre 1896. 102 fr.

DIVISIONS DU TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte. 18 fr.

- II. ROGER. — Introduction à l'étude de la pathologie générale.
 H. ROGER et P.-J. CADIOT. Pathol. comparée de l'homme et des animaux.
 P. VUILLEMIN. Considérations générales sur les maladies des végétaux.
 MATHIAS DUVAL. — Pathogénie générale de l'embryon. Tératogénie.
 LE GENDRE. — L'hérédité et la pathologie générale.
 BOURCY. — Prédilection et immunité.
 MARFAN. — La fatigue et le surmenage.
 LEJARS. — Les Agents mécaniques.
 LE NOIR. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son.
 D'ARSONVAL. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante.
 LE NOIR. — Les Agents chimiques : les caustiques.
 H. ROGER. — Les intoxications.

DIVISIONS DU TOME II

1 vol. grand in-8° de 932 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

- CHARRIN. — L'infection.
 GUIGNARD. — Notions générales de morphologie bactériologique.
 HUGOUNENQ. — Notions de chimie bactériologique.
 CHANTEMESSE. — Le sol, l'eau et l'air agents de transmission des maladies infectieuses.
 GABRIEL ROUX. — Les microbes pathogènes.
 LAVERAN. — Des maladies épidémiques.
 RUFFER. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes.
 R. BLANCHARD. — Les parasites.

Leçons de Thérapeutique

PAR LE

D^r Georges HAYEM

Membre de l'Académie de médecine,
Professeur à la Faculté de médecine de Paris

5 VOLUMES PUBLIÉS

LES MÉDICATIONS : 4 volumes grand in-8° ainsi divisés :

1^{re} Série. — Les médications. — Médication désinfectante. — Médication sthénique. — Médication antipyretique. — Médication antiphlogistique. 8 fr.

2^e Série. — De l'action médicamenteuse. — Médication antihydropique. — Médication hémostatique. — Médication reconstituante. — Médication de l'anémie. — Médication du diabète sucré. — Médication de l'obésité. — Médication de la douleur. . . . 8 fr.

3^e Série. — Médication de la douleur (suite). — Médication hypnotique. —

Médication stupéfiante. — Médication antispasmodique. — Médication excitatrice de la sensibilité. — Médication hypercinétique. — Médication de la kinésitaraxie cardiaque. — Médication de l'asystolie. — Médication de l'ataxie et de la neurasthénie cardiaque. 8 fr.

4^e Série. — Médication antidyspeptique. — Médication antidyspnéique. — Médication de la toux. — Médication expectorante. — Médication de l'albuminurie. — Médication de l'urémie. — Médication antisudorale. . . . 12 fr.

LES AGENTS PHYSIQUES ET NATURELS :

Agents thermiques. — Électricité. — Modifications de la pression atmosphérique. Climats et eaux minérales.

1 volume grand in-8° avec nombreuses figures et 1 carte des eaux minérales et stations climatiques. 12 fr.

Traité élémentaire

de Clinique thérapeutique

Par le **D^r G. LYON**

Ancien interne des hôpitaux de Paris
Ancien chef de clinique à la Faculté de médecine

DEUXIÈME ÉDITION, REVUE, AUGMENTÉE

et mise au courant des travaux les plus récents.

1 volume in-8°. 15 fr.

Dans cet ouvrage, très au courant de l'état actuel de la thérapeutique, les maladies sont classées par ordre alphabétique. Le traitement suit leur description, et à côté de ce traitement, on trouve l'indication des grands symptômes morbides avec un aperçu des moyens cliniques permettant de faire le diagnostic de leurs causes, de telle sorte que la clinique et la thérapeutique s'y trouvent entièrement associées.

Manuel technique *de Massage*

Par le **Dr J. BROUSSES**

Médecin-major de 1^{re} classe

Ex-répétiteur de pathologie chirurgicale à l'École du service de Santé militaire
Lauréat de l'Académie de médecine

DEUXIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

AVEC 56 FIGURES DANS LE TEXTE

1 vol. in-16 diamant, cartonné à l'anglaise, tranches rouges. 4 fr.

Pendant les années que l'auteur a passées à diriger un service chirurgical à l'École du service de santé militaire, il s'est préoccupé d'assurer un enseignement pratique du massage aux infirmiers du service, auxquels il a pu ainsi confier en toute sécurité le soin de parachever, par la massothérapie, la guérison des nombreuses affections chirurgicales qui relèvent de ce traitement. Il a acquis la conviction que les manipulations du massage pouvaient, sans rien perdre de leur efficacité, être ramenées à une description simple et qui, débarrassée le plus possible des termes scientifiques, serait rendue compréhensible à tous. Ce manuel n'est pour la grande partie que le groupement des leçons faites sur ce sujet.

Dans la *deuxième édition* que nous publions aujourd'hui, augmentée de quelques nouveaux chapitres que les progrès faits dans ces deux dernières années par la massothérapie ont rendus indispensables, M. Brousse a fait tous ses efforts pour rester fidèle à son ancien programme : **Faire avant tout œuvre de vulgarisation et d'utilité.**

Précis de Microbie

TECHNIQUE ET MICROBES PATHOGÈNES

PAR MM.

Dr L.-H. THOINOT

Professeur agrégé à la Faculté
Médecin des hôpitaux

E.-J. MASSELIN

Médecin-Vétérinaire

OUVRAGE COURONNÉ PAR LA FACULTÉ (Prix Jeunesse)

TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

AVEC 93 FIGURES DONT 22 EN COULEURS

1 vol. in-18 diamant, cartonné à l'anglaise, tranches rouges. 7 fr.

À côté des ouvrages considérables de France ou de l'Étranger, des revues nouvelles, faisant connaître les travaux des maîtres en l'art d'étudier les infiniment petits, il fallait, pour ne pas oublier les nombreuses précautions que réclame la microbie expérimentale, un aide-mémoire comme on disait jadis de tous ces petits livres qu'on emportait avec soi à l'amphithéâtre. Les maîtres, les habiles eux-mêmes manquent parfois une expérience pour une omission légère; à plus forte raison les élèves, les praticiens peu expérimentés. C'est pour ceux-ci que ce livre est fait et il est conçu de façon à être, avant tout, utile... (*Revue sanitaire de la Province.*)

COURS PRÉPARATOIRE

Au Certificat d'Études physiques, chimiques et naturelles
(P. C. N.)

Précis

de Zoologie

Par le D^r G. CARLET

Professeur à la Faculté des sciences
et à

l'École de médecine de Grenoble

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

Par RÉMY PERRIER

Ancien élève de l'École normale supérieure

Agrégé, Docteur ès sciences naturelles

Chargé du cours préparatoire P. C. N. à la Faculté des sciences de Paris

1 vol. in-8° de 860 pages avec 740 figures dans le texte, 9 fr.

Traité

de Manipulations de physique

Par B.-C. DAMIEN

Professeur de physique à la Faculté des sciences de Lille

et R. PAILLOT

Agrégé, Chef des travaux pratiques de physique à la Faculté des sciences de Lille

1 volume in-8° avec 246 figures dans le texte. 7 fr.

Éléments de Chimie organique

et de Chimie biologique

Par CECHSNER DE CONINCK

Professeur à la Faculté des sciences de Montpellier

Membre de la Société de biologie

Lauréat de l'Académie de médecine et de l'Académie des sciences

1 volume in-16. 2 fr.

Essai de

Paléontologie philosophique

Ouvrage faisant suite

aux « *Enchaînements du monde animal dans les temps géologiques* »

PAR

ALBERT GAUDRY

do l'Institut de France et de la Société royale de Londres
Professeur de paléontologie au Muséum d'histoire naturelle

1 volume in-8° avec 204 gravures dans le texte. 8 fr.

Nous n'avons pas à rappeler ici les beaux travaux de Paléontologie du professeur Albert Gaudry. Les *Enchaînements* ont marqué dans la science une date et contribué à donner aux travaux d'histoire naturelle une direction qui en a affirmé la portée philosophique.

L'ouvrage que nous annonçons aujourd'hui est le résumé de longues années de recherches. M. Gaudry y a tracé en quelques pages l'histoire de l'évolution de la formation des êtres : c'est l'œuvre d'un penseur en même temps que celle d'un savant éminent. Le philosophe comme l'homme de science y trouvera matière à de précieux enseignements.

Table des Chapitres. — Introduction. — I. Le monde animé est une grande unité dont on peut suivre le développement comme on suit celui d'un individu. — II. De la multiplication des êtres. — III. De la différenciation des êtres. — IV. De la croissance du corps chez les êtres animés. — V. Progrès de l'activité dans le monde animé. — VI. Progrès de la sensibilité. — VII. Progrès de l'intelligence. — VIII. Applications pratiques de l'étude de l'évolution des êtres. — Conclusions.

PRÉPARATION A L'ÉCOLE SPÉCIALE MILITAIRE DE SAINT-CYR

Précis de Géographie

PAR

Marcel DUBOIS

Professeur de Géographie coloniale
à la Faculté des lettres de Paris.

Camille GUY

Ancien élève de la Sorbonne
Prof^r agrégé de Géographie et d'Histoire.

UN TRÈS FORT VOLUME IN-8°

Avec nombreuses cartes, croquis et figures dans le texte.

Broché. . . 12 fr. 50 — Relié. . . 14 fr.

Ce nouvel ouvrage est une adaptation des connaissances géographiques à la première éducation militaire qu'on exige des candidats à Saint-Cyr et qui les prépare à la Géographie que nos officiers leur enseigneront plus tard à l'École avec une supériorité incontestée.

Le **Précis de Géographie** reste fidèle à la méthode que les Maîtres et les Elèves apprécient dans les ouvrages antérieurs de M. Marcel Dubois. C'est le livre d'une classe vraiment spéciale et orientée dans une direction déterminée faisant la part de l'éducation large et libérale du futur officier sans jamais négliger la préoccupation immédiate de l'examen.

Précis d'Histoire

MODERNE ET CONTEMPORAINE

Par **F. CORRÉARD**

~ Professeur au lycée Charlemagne.

Un volume in-8° de 800 pages. Broché. 10 fr. 50. Relié. 12 fr.

En rédigeant cet ouvrage l'auteur a eu constamment présente à l'esprit l'indication suivante qui figure en note du programme des conditions d'admission à l'École de Saint-Cyr. « Le programme de l'examen d'histoire et de géographie a été rapproché, autant que possible, du programme d'enseignement des lycées pour éviter que les candidats ne se croient obligés à se donner une préparation trop spéciale et nuisible par là même à leur éducation intellectuelle. Les candidats doivent, avant toutes choses, faire preuve de connaissances générales et réfléchies en histoire. L'examen ne portera pas sur les menus détails de l'histoire des guerres. » En conséquence l'auteur, suivant la méthode employée dans les précédents ouvrages, s'est attaché d'abord à choisir et à caractériser les faits et les personnages significatifs, puis à marquer la suite et l'enchaînement des événements. Pour les opérations militaires mentionnées dans le programme, il s'est efforcé de faire comprendre le sens et le but soit des campagnes, soit des batailles, en évitant les considérations trop techniques qui supposent des connaissances que les candidats n'auront que plus tard.

Leçons de

Géographie physique

Par **Albert de LAPPARENT**

Professeur à l'École libre de Hautes-Études
Ancien Président de la Commission centrale de la Société de Géographie

*1 volume in-8° contenant 117 figures dans le texte
et une planche en couleurs. . . 12 fr.*

Dans les derniers jours de 1895, lors de la discussion du budget devant le Sénat, M. Bardoux appelait l'attention du Ministre de l'Instruction publique sur la situation actuelle de l'enseignement de la Géographie physique. L'honorable sénateur constatait, sans être contredit par personne, qu'il n'y avait aujourd'hui en France qu'un seul cours complet sur la matière, celui que professait M. de Lapparent à l'École libre de Hautes-Études.

C'est ce cours que nous venons offrir au public. Après plusieurs années d'essais, l'auteur croit avoir réussi à unir en un véritable corps de doctrines ces intéressantes considérations, relatives à la genèse des formes géographiques, dont on peut dire qu'il a été en France le plus persévérant initiateur.

Aujourd'hui, muni de toutes les indispensables connaissances de détail que la rédaction et les remaniements successifs de son grand *Traité de Géologie* l'ont mis en mesure d'acquérir, il lui a semblé que l'heure était venue d'une synthèse, où ce qu'on peut appeler l'anatomie du globe terrestre ferait l'objet d'une exposition tout imprégnée des notions géologiques. Mais en même temps il a cherché à rendre cette intervention de la géologie aussi discrète que possible, en n'exigeant à cet égard que le minimum admissible de connaissances spéciales, comme aussi en se montrant de la plus grande sobriété dans l'emploi des termes techniques. C'est un des caractères par lesquels son œuvre se distingue des tentatives analogues déjà faites en Amérique et en Allemagne, et qui impliquent, de la part des lecteurs, une initiation géologique beaucoup plus complète que celle qu'il est prudent d'admettre aujourd'hui dans notre pays.

VIENT DE PARAÎTRE

Chimie

des Matières colorantes

PAR

A. SEYEWETZ

Chef des travaux
à l'École de chimie industrielle de Lyon

P. SISLEY

Chimiste - Coloriste

Premier fascicule. — *Considérations générales. Matières colorantes nitrées. Matières colorantes azoxyques. Matières colorantes azoïques* (1^{re} partie), 152 pages. 6 fr.

Deuxième fascicule. — *Matières colorantes azoïques* (2^e partie). *Matières colorantes hydrazoniques. Matières colorantes nitrosées et quinones oximes. Oxiquinones* (couleurs dérivées de l'anthracène). Pages 153 à 336. 6 fr.

Troisième fascicule. — *Matières colorantes dérivées du Di et du Triphénylméthane.* a) *Dérivés du Diphénylméthane.* b) *Dérivés de la Rosaniline.* c) *Dérivés de l'Acide Rosolique.* d) *Rosamines et Benzoines.* e) *Phtaléines*, pages 336 à 472 6 fr.

Les auteurs, dans cette importante publication, se proposent de réunir sous la forme la plus rationnelle et la plus condensée tous les éléments pouvant contribuer à l'enseignement de la chimie des matières colorantes, qui a pris aujourd'hui une extension si considérable.

Cet ouvrage sera, par le plan sur lequel il est conçu, d'une utilité incontestable non seulement aux chimistes se destinant soit à la fabrication des matières colorantes, soit à la teinture, mais à tous ceux qui sont désireux de se tenir au courant de ces remarquables industries.

Conditions de la publication. — *La Chimie des Matières colorantes artificielles sera publiée en cinq fascicules de deux mois en deux mois. On peut souscrire à l'ouvrage complet au prix de 25 fr., payables en recevant le premier fascicule. A partir de la publication du cinquième fascicule, ce prix sera porté à 30 fr.*

Traité

des

Matières colorantes

ORGANIQUES ET ARTIFICIELLES

de leur préparation industrielle et de leurs applications

PAR

Léon LEFÈVRE

Ingénieur (E. I. R.), Préparateur de chimie à l'École Polytechnique.

Préface de E. GRIMAUX, membre de l'Institut.

2 volumes grand in-8° comprenant ensemble 1650 pages, reliés toile anglaise, avec 31 gravures dans le texte et 261 échantillons.

Prix des deux volumes : 90 francs.

Le *Traité des matières colorantes* s'adresse à la fois au monde scientifique par l'étude des travaux réalisés dans cette branche si compliquée de la chimie, et au public industriel par l'exposé des méthodes rationnelles d'emploi des colorants nouveaux.

L'auteur a réuni dans des tableaux qui permettent de trouver facilement une couleur quelconque, toutes les couleurs indiquées dans les mémoires et dans les brevets. La partie technique contient, avec l'indication des brevets, les procédés employés pour la fabrication des couleurs, la description et la figure des appareils, ainsi que la description des procédés rationnels d'application des couleurs les plus récentes. Cette partie importante de l'ouvrage est illustrée par un grand nombre d'échantillons toints ou imprimés. Les échantillons, tous *fabriqués spécialement pour l'ouvrage*, sont sur soie, sur cuir, sur laine, sur coton et sur papier. Dans cette partie technique, l'auteur a été aidé par les plus éminents praticiens.

Un spécimen de 8 pages, contenant deux pages de tableaux (couleurs azoïques), six types d'échantillons, deux pages de texte et un extrait de la table alphabétique, est à la disposition de toute personne qui en fait la demande.

IENT DE PARAITRE

Le Terrain carbonifère marin

DE LA FRANCE CENTRALE

I. Étude paléontologique et stratigraphique des faunes.

II. Transgression de la mer carbonifère.

III. Anciens glaciers de la période houillère supérieure de la France centrale.

Par **A. JULIEN**

Professeur de géologie et de minéralogie à l'Université de Clermont-Ferrand

1 fort volume in-4°

avec coupes géologiques et 17 planches de fossiles en héliogravure, 60 fr.

Table des Matières. — Introduction. — Description des fossiles. — Étude critique des faunes carbonifères marines du Morvan et du Plateau central. — Position stratigraphique des assises qui les renferment. — Morvan. — Comparaison avec les faunes belges. — Examen comparatif de la faune du pair et des faunules du Morvan. — Examen comparatif de la faune du marbre noir *vb* du Petit Modave et des faunules du Morvan. — Plateau central. — Age du grès anthracifère. — Position stratigraphique du grès anthracifère. — Examen critique des faunes carbonifères marines de la France et de quelques localités étrangères. — Relation des gisements du Plateau central avec les autres gisements français. — Transgression de la mer carbonifère dans le Morvan et le Plateau central, en France et en Europe. — Essai de parallélisme entre les transgressions marines des époques carbonifères et helvétienues. — Conditions nécessaires à la création et au développement des glaciers en général.

La Photographie moderne

TRAITÉ PRATIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE
ET DE SES

APPLICATIONS A L'INDUSTRIE ET A LA SCIENCE

Par **M. Albert LONDE**

Directeur du Service photographique de la Salpêtrière,
Président de la Société d'excursions des Amateurs de photographie,
Secrétaire-général adjoint de la Société française de Photographie,
Président d'honneur du Photo-Club de Lyon,
Officier de l'Instruction publique.

DEUXIÈME ÉDITION

complètement refondue et considérablement augmentée.

1 vol. in-8° relié toile avec 346 figures dans le texte et 5 planches
hors texte (dont 1 frontispice). . . . 15 fr.

Dans cette science nouvelle qui se développe tous les jours, la nécessité d'une direction se fait d'autant plus sentir que les progrès sont plus sensibles : pour discerner le bon du mauvais ou du médiocre, il faut une somme de connaissances et une expérience pratique que l'on ne saurait demander à celui qui ne fait de la photographie qu'une occupation passagère.

La plupart des auteurs n'ont pas compris la nécessité de cette direction à donner au débutant, et c'est par des compilations de recettes et de formules qu'ils prétendent initier à la photographie.

Tout en reconnaissant la valeur de ces formulaires pour ceux qui se sont spécialisés, l'auteur n'est pas tombé dans la même erreur : dans chaque hypothèse il a donné la solution la plus simple et la plus sûre, de façon à permettre au lecteur, qui voudra bien le suivre fidèlement, d'atteindre le but sans tâtonnements.

VIENT DE PARAÎTRE

Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme

De E. MASCART et J. JOUBERT

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

Par E. MASCART

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France
Directeur du bureau central de Météorologie.**TOME PREMIER. — PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX ET THÉORIE**

1 volume grand in-8° avec 130 figures dans le texte, 25 fr.

L'accueil fait par le public à cet ouvrage, épuisé depuis plusieurs années, nous engageait à en donner une seconde édition, mais il a paru nécessaire d'en romancier presque entièrement la rédaction pour tenir compte des progrès accomplis dans le domaine de l'électricité. Les modifications introduites dans le texte primitif et les développements nouveaux qu'exigent l'état actuel de la science, n'ont pas modifié le plan général de cet ouvrage.

Le premier volume continuera à constituer une sorte de corps de doctrine, renfermant l'ensemble des faits et des conceptions qui ont servi à le coordonner. Le second volume sera plus spécialement consacré à l'étude des méthodes d'observations, au détail des expériences et à l'examen des principaux caractères que présentent les applications si nombreuses de l'électricité dans l'industrie,

Le tome II, dès à présent sous presse, paraîtra à la fin de 1896. Les acquéreurs du tome I trouveront dans le volume un bon qu'il leur suffira de présenter avant le 31 mars 1897 pour avoir le droit de retirer le tome II au prix de 15 francs; ils payeront par conséquent l'ouvrage complet quarante francs (au lieu de 45 à l'apparition du tome II).

VIENT DE PARAÎTRE

Les Médicaments chimiques

Par Léon PRUNIER

Membre de l'Académie de Médecine, Pharmacien des Hôpitaux,
Professeur à l'École supérieure de Pharmacie.**Première partie : COMPOSÉS MINÉRAUX**

1 vol. grand in-8° de 625 pages avec 137 figures dans le texte. 15 fr.

L'ouvrage que nous publions aujourd'hui est le résumé des cours professés par l'auteur à l'École supérieure de pharmacie (chaire de pharmacie chimique) et romaniés pendant dix années consécutives. Ce n'est point un traité de chimie pas plus qu'un traité de pharmacologie, et moins encore un formulaire ou un manuel. C'est un résumé technique et professionnel dans lequel médecins, pharmaciens ou étudiants trouveront rassemblés et coordonnés les documents, dispersés un peu partout, qui peuvent intéresser l'étude chimique des médicaments, mais rien autre. L'ensemble conservera, nécessairement, les grandes lignes de la chimie générale, mais dans chaque groupe ou chaque cas particulier, les détails sont dispersés de manière à mettre en lumière ce qu'ils offrent de spécialement utilisable pour les applications pharmaceutiques et médicales.

Les MÉDICAMENTS CHIMIQUES forment deux parties : la première est consacrée aux COMPOSÉS MINÉRAUX, la seconde aux COMPOSÉS ORGANIQUES. — La deuxième partie (Composés organiques) paraîtra avant la fin de l'année 1896. — Chaque partie forme un tout et peut être vendue séparément. Prix de chaque volume séparé. 15 fr.

ANNALES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

DERNIERS VOLUMES PARUS :

- Histoire de la compensation en droit Romain**, par C. APPLETON, professeur à la Faculté de Lyon. 1 vol. in-8°. 7 fr. 50
- Sur la représentation des courbes algébriques**, par LÉON AUTONNE, ingénieur des ponts et chaussées, maître de conférences à la Faculté de Lyon. 1 vol. in-8°. 3 fr.
- La République des Provinces-Unies, la France et les Pays-Bas espagnols, de 1630 à 1650**, par A. WADDINGTON, professeur adjoint à la Faculté des lettres de Lyon. Tome I (1630-1642). 1 vol. in-8°. 6 fr.
- Phonétique historique et comparée du sanscrit et du zend**, par PAUL REGNAUD, professeur de sanscrit et de grammaire comparée à la Faculté des lettres de Lyon. 1 vol. in-8°. 5 fr.
- Recherches sur quelques dérivés surchlorés du phénol et du benzène**, par ÉTIENNE BARRAL, chargé des fonctions d'agrégé à la Faculté de Lyon, pharmacien de 1^{re} classe. 1 vol. in-8°. 5 fr.
- Saint Ambroise et la morale chrétienne au IV^e siècle**, par RAYMOND THAMIN, professeur de philosophie au lycée Condorcet. 1 vol. in-8°. 7 fr. 50
- Étude sur le Bilharzia hæmatobia et la Bilharziose**, par M. LORTET, doyen de la Faculté de médecine de Lyon, et VIALLETON, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 1 vol. in-8° avec planches et figures dans le texte. 10 fr.
- La Jeunesse de William Wordsworth (1770-1798). Étude sur le « Prélude »**, par EMILE LEGOUIS, maître de conférences à la Faculté des lettres de Lyon. 1 vol. in-8°. 7 fr. 50
- La Botanique à Lyon avant la Révolution et l'histoire du Jardin botanique municipal de cette ville**, par M. GÉRARD, professeur à la Faculté des sciences de Lyon. 1 vol. in-8° avec figures dans le texte. 3 fr. 50
- L'Évolution d'un Mythe. Açvins et Dioscures**, par CH. RENEL, docteur ès lettres.
- Physiologie comparée de la Marmotte**, par RAPHAEL DUBOIS, professeur de physiologie générale et comparée à l'Université de Lyon. 1 vol. in-8° avec 119 figures dans le texte et 125 planches hors texte. 15 fr.
- Résultats scientifiques de la campagne du Caudan dans le golfe de Gascogne (août-septembre 1895)**, par R. KÉHLER, professeur de zoologie à la Faculté des sciences de Lyon. Fascicule I. 1 vol. in-8° avec planches 6 fr.
- Études sur les terrains tertiaires du Dauphiné, de la Savoie et de la Suisse occidentale**, par H. DOUXAMI, docteur ès sciences, agrégé de l'Université de Lyon. 1 vol. in-8° avec figures. 6 fr.
- Recherches physiologiques sur l'appareil respiratoire des oiseaux**, par J.-M. SOUM, docteur ès sciences naturelles. 1 vol. in-8° avec 40 figures dans le texte. 3 fr. 50

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 250 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- R.-V. PICOU. — Distribution de l'électricité (2 vol.).
A. GOUILLY. — Air comprimé ou raréfié.
DUQUESNAY. — Résistance des matériaux.
D. WELSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.
A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur.
M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.
ALHEILIG. — Travail des bois.
AIMÉ WITZ. — Thermodynamique
LINDET. — La bière.
TH. SCHLESING fils. — Chimie agricole.
SAUVAGE. — Moteurs à vapeur.
L.R. CHATELIER. — Le grison.
MADAMET. — Détente variable de la vapeur. Dispositifs qui la produisent
DUDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
CRONEAU. — Canon, torpilles et cuirasse.
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
LECONTE. — Les textiles végétaux.
ALHEILIG — Corderie.
DE LACNAY. — I. Les gîtes métallifères.
— II. Production métallifère.
BERTIN. — État de la marine de guerre.
FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.
BERTHELOT. — Traité pratique de calorimétrie chimique.
DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
MADAMET. — Epures de régulation.
GUILLAUME. — Unités et étalons.
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
MINEL (P.). — Électricité industrielle. (2 vol.).
LAVERGNE (Gérard). — Turbines.
HÉBERT. — Boissons falsifiées.
NAUDIN. — Fabrication des vernis.
SINGAGLIA. — Accidents de chau-lières.
H. LAURENT. — Théorie des jeux.
GUENEZ. — Décoration de la porcelaine au feu de moufle.
VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.
MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.
WALLON. — Objectifs photographiques.
BLOCH. — Eau sous pression.

Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.
MAGNAN et SÉRIRUX. — Le délire chronique à évolution systématique.
AUVARD. — Séméiologie génitale.
G. WEISS. — Electrophysiologie.
BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).
WURTZ. — Technique bactériologique.
Trousseau. — Hygiène de l'œil.
FÉRÉ. — Epilepsie.
LAVERAN. — Paludisme.
POLIN et LABIT. — Examen des aliments suspects.
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine
Actions moléculaires, Acoustique, Electricité.
AUVARD. — Menstruation et fécondation.
MERGIN. — Les acariens parasites.
DEMELIN. — Anatomie obstétricale.
CUENOT. — Les moyens de défense dans la série animale.
A. OLIVIER. — L'accouchement normal.
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
CHARPIN. — I. Les poisons de l'urine.
— II. Poisons du tube digestif.
ROGER. — Physiologie normale et pathologique du foie.
Brocq et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie. — I. Pathologie générale cutanée. — II. Maladies en particulier. — III. Dermatoses microbiennes et néoplasies. — IV. Dermatoses inflammatoires. — V. Dermato-neuroses et Formulaire.
HANOT. — De l'endocardite aiguë.
WHELL-MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.
LANGLOIS. — Le lait.
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).
Broca. — Le traitement des ostéo-arthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.
DU CAZAL ET CATRIN. — Médecine légale militaire.
LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes externes de l'œil.
KOEHLER. — Application de la photographie aux Sciences naturelles.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- CRONAU. — Construction du navire.
DE MARGHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.)
PRUD'HOMME. — Teinture et impressions
ALHMING. — Construction et résistance des machines à vapeur.
SOREL. — La rectification de l'alcool.
P. MINEL. — Électricité appliquée à la marine.
DWELSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur.
AIMÉ WITZ. — Les moteurs thermiques.
DE BILLY. — Fabrication de la fonte
P. MINEL. — Régularisation des moteurs des machines électriques.
HENNEBERT (C^t). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places.
CASPARI. — Chronomètres de marine.
LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.
DUDEBOUT et CRONAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.
C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.
H. LEAUTÉ et A. BERARD. — Transmissions par câbles métalliques.
DE LA BAUME PLUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.
HATT. — Les marées.
H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie.
C^t VALLIER. — Balistique (2 vol.).
SOREL. — La distillation.
LELOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.
DARIÉS. — Cubature des torrasses et mouvement des terres.
SIDERSKY. — Polarisation et saccharimétrie.
NIWENGLAWSKI. — Applications scientifiques de la photographie.
ROQUES (X.). — Analyse des alcools et eaux-de-vie.
MOISSARD. — Topographie.
GOULLY. — Géométrie descriptive (3 v.).
BOURSAULT. — Calcul du temps de pose en photographie.
SEGUELA. — Les tramways.
LEPEVRE (J.). — I. La Spectroscopie. — II. La Spectrométrie.
BARILLOT (E.). — Distillation des bois.
LE VERRIER. — La fonderie.
MOISSAN et OUVREARD. — Le nickel.

Section du Biologiste

- BEAUREGARD. — Le microscopé et ses applications.
LESAGE. — Le choléra.
LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.
CORNEVIN. — Production du lait.
J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 v.).
CASTEX. — Hygiène de la voix parlée et chantée.
MAGNAN et SÉRIEUX. — La paralysie générale.
CUENOT. — L'influence du milieu sur les animaux.
MERKLEN. — Maladies du cœur.
G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.
OLLIER. — La régénération des os et les résections sous-périostées.
LACTULLE. — Pus et suppuration.
CRITZMAN. — Le cancer.
ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.
MÉGNIN. — La faune des cadavres.
SÉGLAS. — Le délire des négations.
STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.
GRÉHANT. — Les gaz du sang.
NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.
MOUSSOUS. — Maladies congénitales du cœur.
BERTHAULT. — Les prairies (2 vol.).
ETARD. — Les nouvelles théories chimiques.
TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.
LAMY. — Syphilis des centres nerveux.
RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.
THOULET. — Océanographie pratique.
OLLIER. — Résections des grandes articulations.
HOUDAILLE. — Météorologie agricole.
VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.
HÉNOQUE. — Spectroscopie du sang.
GALIPPE ET BARRÉ. — Le pain (2 v.).
LE DANTEC. — La matière vivante.
L'HOTÉ. — Analyse des engrais.
LARBALÉTRIER. — Les tourteaux.
LE DANTEC ET BÉRARD. — Les sporozoaires.
DEMMLER. — Soins à donner aux malades.
DALLEMAGNE. — Les stigmates de la criminalité (2 vol.).
BRAULT. — Des artérites.
RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.
DALLEMAGNE. — Les théories de la criminalité.
EHLERS. — L'Ergotisme.