

N^o. 15.

BIBLIOTHEQUE SCIENTIFIQUE DES ECOLES & DES FAMILLES



DIRECTEUR
GUSTAVE PHILIPPON
Docteur ès sciences

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

PAR

E. DUMONT

PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES

(Nombreuses figures dans le texte)

HENRI GAUTIER, éditeur, 55 Quai des Célestins, PARIS

LIVRES DE RÉCRÉATION ET D'INSTRUCTION

A DIX ET QUINZE CENTIMES

NOUVELLE BIBLIOTHÈQUE POPULAIRE

A DIX CENTIMES

(Couronnée par l'Académie française)

Le volume : Dix centimes.

(Franco par la poste : 1 volume 15 centimes, 2 volumes 25 centimes.)

EXTRAIT DU CATALOGUE DES CINQ CENTS VOLUMES EN VENTE :

Regnard : Voyage en Laponie (1 vol.). — *Le Père Didon* : Jésus-Christ (1 vol.). — *Sainte-Beuve* : La Grande Mademoiselle (1 vol.). — *Guy de Maupassant* : Trois Contes (1 vol.). — *Jules Lemaitre* : L'Imagier (1 vol.). — *La Fontaine* : Voyage à Limoges (1 vol.). — *Cyrano de Bergerac* : Histoires comiques de la Lune et du Soleil (1 vol.). — *Shakespeare* : Hamlet (1 vol.). — *Jules Michelet* : En Italie (1 vol.).

BIBLIOTHÈQUE

DE

SOUVENIRS ET RÉCITS MILITAIRES

(Honorée d'une souscription du Ministère de la Guerre)

Le volume : Quinze centimes.

(Franco par la poste : 1 volume 20 centimes, 2 volumes 35 centimes.)

Tous les volumes sont illustrés.

EXTRAIT DU CATALOGUE DES CENT QUATRE VOLUMES EN VENTE :

D'Ulm à Austerlitz, par le Général baron Thiébauld (1 vol.). — *Sébastopol*, par S. M. I. Alexandre III (1 vol.). — *Iéna, Eylau, Friedland*, par le Général baron Lejeune (1 vol.). — *La Grande Armée en Russie*, par le Général Rapp (2 vol.). — *La Bataille de Paris en 1814*, par Henry Houssaye (1 vol.). — *Sedan*, par le Commandant Rousset (1 vol.). — *Les Marins et les Corps francs en 1870-71*, par le Commandant Rousset (1 vol.). — *La Mort héroïque du Commandant Rivière*, par le lieutenant Duboc (1 vol.). — *L'Amiral Courbet en Extrême-Orient*, par le lieutenant Maurice Loir (1 vol.). — *Aux Grandes Manœuvres, notes d'un Réserviste*, par Paul Guinisty (1 vol.).

Voir aux pages suivantes de cette couverture
la suite de nos collections à **10** et **15** centimes.

Le Catalogue complet de ces collections est envoyé gratis et franco à toute personne qui nous en fait la demande par lettre affranchie.



APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

par G. DUMONT,

Ingénieur.

AVANT-PROPOS

L'électricité, qui n'était utilisée autrefois qu'à la télégraphie et à la galvanoplastie, lorsqu'on ne savait la produire qu'en petite quantité, à l'aide des piles, a reçu les applications industrielles les plus variées du jour où on est parvenu à l'engendrer au moyen de machines. Ces applications sont maintenant d'une telle importance que nous vivons pour ainsi dire avec l'électricité : elle nous éclaire dans la rue, dans la maison ; c'est elle qui fait marcher les voitures des tramways. Dans les usines, elle actionne les machines-outils les plus diverses. Elle nous permet non seulement de correspondre, mais même de parler à des distances vraiment prodigieuses. Il n'est donc plus permis d'ignorer par quels procédés on peut la produire et l'utiliser à des usages si variés. C'est là le but des études que nous tâcherons de rendre aussi intéressantes que possible en les mettant à la portée de nos lecteurs et en écartant par suite tous les développements purement scientifiques et techniques.

Le présent opuscule traitera de la *lumière électrique et de ses applications*. Son but est de permettre à quiconque de se

rendre compte de la façon dont on produit l'électricité, dont on la mesure, dont on la distribue et dont on la transforme en lumière ; nous suivrons donc pas à pas l'ordre indiqué, et nous terminerons par une revue des progrès accomplis depuis quelques années dans cette branche si importante de l'industrie électrique. Nous essayerons de nous faire comprendre, en rattachant autant que possible les phénomènes électriques à des phénomènes connus de tous.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

Quelques notions préliminaires sont nécessaires pour comprendre les termes du langage électrique.

D'abord : Qu'est-ce que l'électricité ?

C'est une des formes sous lesquelles se manifeste l'énergie.

Les autres formes sont : la chaleur, la lumière, l'affinité chimique et la force mécanique. Chacune d'elles peut donner naissance, par transformation, à l'une quelconque des autres.

Bien qu'on ne connaisse pas exactement la nature de l'électricité, on sait la produire, constater sa présence, la mesurer et la distribuer comme on le fait pour les autres agents de travail cités plus haut.

Qu'est-ce qu'un courant électrique ?

C'est de l'électricité en mouvement ou *dynamique* par opposition à l'électricité *statique*, fixe ou immobile ; de même de l'eau circulant toujours dans un sens déterminé donne un *courant d'eau*.

Le courant électrique n'est pas visible comme le courant d'eau, mais il existe des appareils qui permettent de constater son sens et sa valeur.

On peut également le comparer à un courant de chaleur dans une barre métallique.

Comment le courant électrique prend-il naissance ?

Pour avoir un *courant d'eau* dans un tuyau, il suffit de

fournir à ce tuyau de l'eau à une pression plus élevée à un bout qu'à l'autre; l'eau s'écoulera de la première extrémité à la deuxième, et cela tant qu'il existera une différence de pression.

De même, une tringle métallique, dont on place l'une des extrémités dans un foyer en tenant l'autre à la main, procure à cette dernière une sensation de chaleur croissante. Il y a donc transport de chaleur de molécule à molécule. Si, la première extrémité restant dans le foyer, on absorbe à l'autre extrémité la chaleur à mesure qu'elle y arrive, il y aura transport continu, c'est-à-dire *courant de chaleur* dans la barre.

Il suffit donc, pour avoir un courant de chaleur dans une tige métallique, d'en maintenir les deux bouts à des températures différentes.

On peut donner d'autres exemples de transmission : le son à travers l'air, l'eau ou les matières solides et la lumière qui nous vient des astres à travers l'atmosphère.

L'écoulement de l'électricité est en tout comparable à celui de la chaleur, mais avec cette différence que la première se transmet d'une façon extrêmement rapide, on peut dire instantanément (avec une vitesse égale à celle de la lumière qui nous vient en huit minutes du soleil).

Qu'est-ce qu'une source d'électricité ?

La définition résulte des explications données ci-dessus : une *source d'électricité* est un appareil pouvant maintenir constamment deux de ses points à des pressions ou tensions différentes. La *différence constante de tension* entre ces deux points constitue une *force électromotrice*, c'est-à-dire une force capable d'engendrer un courant électrique dans un fil continu reliant les deux points fixes appelés les *bornes* de l'appareil.

Différentes sources d'électricité.

L'électricité peut être due, ainsi qu'il a été dit au début, à différentes causes :

1^o A des causes mécaniques, comme le frottement utilisé par les *machines électrostatiques* ;

2^o A des causes physiques, comme la chaleur (*piles thermo-électriques*).

Au magnétisme (*machines magnétos*);

A l'électricité elle-même (*machines dynamos*);

3° A des causes chimiques (*piles hydro-électriques*).

Sources employées pour la production de la lumière.

Les seules sources employées universellement pour obtenir la lumière électrique sont : les *piles* et les machines dynamo-électriques, ou plus simplement *dynamos*.

Qu'est-ce qu'un circuit électrique ?

Le fil continu qu'on relie aux bornes de la source et où circule le courant électrique constitue un circuit dit *circuit extérieur*. Il est complété par la partie de l'appareil générateur, ayant ses deux extrémités reliées aux bornes et où s'engendre le courant. Cette partie constitue le *circuit intérieur*. L'ensemble forme un circuit *complet* ou *fermé*.

Si, fortuitement ou non, il se produit une solution de continuité ou *coupure*, le circuit devient *incomplet* ou *ouvert*.

En rétablissant la continuité du circuit on le *ferme*.

L'électricité se transmet plus ou moins rapidement dans les divers corps, qui sont dits plus ou moins *conducteurs*, suivant qu'ils opposent à sa circulation une *résistance* plus ou moins grande.

On conçoit qu'une même force électromotrice crée dans un conducteur un courant électrique d'une *intensité* d'autant plus grande que le conducteur est moins résistant.

D'une manière générale :

Les métaux sont très bons conducteurs ;

Les liquides le sont moins ;

Les substances vitreuses ou textiles le sont très peu ;

Les résines et les gaz sont dits *isolants*, c'est-à-dire que théoriquement ils ne permettent pas à l'électricité de s'écouler.

Ceci explique pourquoi on constitue un circuit électrique en corps métalliques (cuivre, fer, bronze) et ses supports en corps isolants (bois, verre, grès, porcelaine). Ce qui s'exprime en disant qu'un circuit électrique doit être *continu* et *isolé*.

Cependant la *terre*, à cause de sa grande masse, est un conducteur utilisable, et au lieu de former un circuit par

deux fils parallèles allant de la source au point d'utilisation (fil d'*aller* et fil de *retour*), on peut n'établir que le fil d'*aller* et remplacer le deuxième par deux bouts de fil réunis chacun à une plaque enterrée dans le sol à chaque extrémité.

Ceci explique aussi qu'un circuit *mal isolé*, c'est-à-dire en contact par l'un de ses points avec un support quelque peu conducteur et en relation avec la terre, subira une *perte* par ce mauvais support. D'où les précautions prises pour l'isolation des conducteurs souterrains.

Les fils aériens fixés sur des cloches de porcelaine peuvent être nus, l'air sec étant un excellent isolant.

Loi d'Ohm. — Avant de poursuivre notre étude, il importe de connaître la loi suivant laquelle s'effectue l'écoulement de l'électricité dans un conducteur et de calculer le travail que peut produire un courant.

La quantité d'électricité qui passe en un point déterminé du conducteur, pendant l'unité de temps, la seconde, dépend de la *pression* ou *force électromotrice* qui détermine l'écoulement, et de la *résistance* opposée par le conducteur, laquelle dépend à son tour non seulement de la nature de ce conducteur mais de sa section.

Donc, il faut considérer dans le cas de l'écoulement de l'électricité trois facteurs : la force impulsive, *tension* ou force électromotrice, l'*intensité* ou *débit* et la *résistance* du conducteur.

Ces trois facteurs s'évaluent au moyen d'unités qui ont reçu les noms de :

Ampère, pour l'intensité ou débit;

Volt, pour la tension ou force électromotrice;

Ohm, pour la résistance.

Ils sont liés entre eux par une loi fort simple, dite loi d'*Ohm*, du nom du physicien qui l'a établie, et dont l'expression algébrique est la suivante :

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

I désignant l'intensité en *ampères*, E la tension ou force électromotrice en *volts*, et R la résistance en *ohms*.

Ainsi, connaissant l'intensité et la tension du courant qui circule dans un conducteur, on a immédiatement la valeur de la résistance en ohms de ce conducteur en mettant l'expression précédente sous la forme.

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

La résistance opposée par un conducteur dans lequel circule un courant de $I = 100$ ampères sous une tension de $E = 50$ volts sera de $R = 50 : 100 = 0,5$ ohm.

Il est facile, comme on le voit, de calculer l'un des trois facteurs de l'expression ci-dessus connaissant les deux autres.

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

(*Machines dynamos.*)

L'électricité dynamique peut être engendrée, comme nous le disions plus haut, par des *piles* et par des *machines*. C'est à ce dernier mode de production que l'on a recours pour la lumière, parce qu'il faut disposer d'une grande quantité d'électricité que l'on ne peut obtenir économiquement à l'aide des piles. Ces dernières ne sauraient servir, pour l'application qui nous occupe, que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles, par exemple pour alimenter un très petit nombre de lampes dans un appartement, lorsqu'on ne recule pas devant la dépense, l'encombrement de ces sortes de générateurs d'électricité et en général devant les multiples inconvénients résultant d'une manipulation de produits chimiques plus ou moins dangereux.

Étudions donc très sommairement la constitution et le mode de fonctionnement des machines dynamos, c'est-à-dire les phénomènes physiques, en vertu desquels elles transforment en électricité dynamique, c'est-à-dire en courant électriques, l'énergie mécanique qu'on leur fournit.

Constitution. — Une machine dynamo comprend toujours quatre parties essentielles, comme l'indique le dessin ci-dessous qui n'est qu'un croquis de principe :

1° Un (ou plusieurs) électro-aimant *inducteur* constitué par une carcasse de métal *magnétique* (fer ou fonte) comprenant : une *culasse* T ; des *noyaux* E, E ; des *épanouissements* ou *pôles*, P, P', aux extrémités des noyaux.

Le *circuit inducteur* formé de bobines de fil de cuivre isolé enroulé autour des noyaux et reliées entre elles et aux bornes *b, b'* de la machine de manière à être parcourues, en marche, par tout ou partie du courant ;

2° L'*induit* fait de bobines de fils de cuivre enroulés d'une certaine manière autour d'une *armature* de fer doux, montée sur un axe mobile et pouvant par suite tourner entre les deux *extrémités* ou *pôles* P, P' de l'électro-aimant fixe.

C'est dans l'induit que prend naissance le courant.

Nous dirons une fois pour toutes que l'armature de fer doux, qui est un cylindre dit *tambour* ou un tore à section rectangulaire dit *anneau*, a pour but de concentrer le magnétisme inducteur et que son action complète celle des pôles inducteurs ;

3° Le *collecteur*, sur l'axe à l'un des bouts de l'armature. C'est un cylindre C de matière isolante dans laquelle sont encastrées des pièces

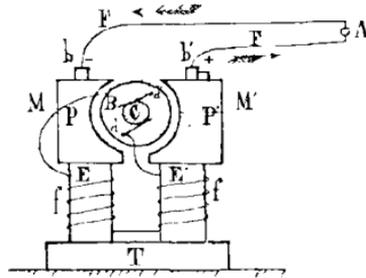


fig. 1

métalliques reliées au circuit induit et tournant avec lui ;

4° Enfin, frottant constamment sur ces pièces métalliques qui couvrent la surface du cylindre C, des balais métalliques fixes *d* et *d'*, lesquels sont reliés aux bornes *b* et *b'* de la machine et par suite au circuit extérieur.

Le collecteur et les balais forment donc le mode de liaison entre les circuits intérieur et extérieur.

Mode de fonctionnement. — Le courant est engendré, en principe, par le déplacement relatif de l'induit et du champ magnétique qui se crée entre les pôles de l'électro-aimant inducteur quand un courant parcourt ses bobines.

Les courants ainsi obtenus sont dits *courants d'induction*.

Les machines industrielles se divisent en deux grandes catégories :

Les *machines à courants alternatifs* ;

Les *machines à courant continu*.

On peut se rendre compte *grosso modo* du mode de fonctionnement de chacun de ces types de dynamos en sachant que toute *boucle* ou *spire* de fil de cuivre tournant entre deux pôles d'aimant (ou d'électro-aimant) est parcourue par un courant d'un certain sens pendant sa première demi-révolution et par un courant de sens contraire pendant la deuxième demi-tour. Chacun de ces courants croît pour décroître jusqu'à zéro, et l'inversion se produit quand la spire est à égale distance des deux pôles.

Si le collecteur est constitué par deux bagues métalliques reliées chacune à l'un des bouts de la spire, et si des balais frottent sur ces deux bagues, on y recueillera une succession de courants, alternativement d'un sens et de sens opposé à chaque demi-révolution, et on aura créé une *machine à courants alternatifs*.

Si, au lieu d'une spire, on a une série de spires reliées bout à bout de façon à constituer une bobine, le courant produit sera plus puissant.

Comme on ne peut utiliser ces courants que s'ils sont d'une *grande fréquence*, c'est-à-dire s'ils changent de sens un grand nombre de fois par seconde (de 25 à 130 fois ordinairement), on construit, en pratique, des inducteurs comprenant, réparties sur toute leur circonférence, plusieurs paires de pôles et des induits formés d'un nombre variable de bobines. La *fréquence* est égale au nombre de pôles multiplié par le nombre de tours par seconde.

Si au lieu d'une bobine on en a une série côte à côte passant toutes par le centre de façon à couvrir un cylindre ou tambour, et si on constitue le collecteur par des touches en nombre égal à celui des bobines, toutes parallèles à l'arbre de l'induit, reliées chacune à la fin d'une bobine et au commencement de l'autre, on aura une machine à tambour genre Siemens. Si, dans une telle machine, les balais sont convenablement placés par rapport aux pôles, chaque bobine agissant comme la bobine élémentaire décrite au début de

notre explication, l'ensemble donnera, dans le circuit extérieur un courant *ondulatoire seulement*, mais toujours de même sens. On aura créé ainsi une *dynamo à courant continu*; ce courant sera d'autant plus constant que le nombre des bobines sera plus grand.

Dans la machine à courant continu de Gramme, le tambour est remplacé par un anneau, mais l'effet résultant est le même.

Excitation des dynamos à courant continu. — Mais jusqu'ici, nous n'avons pas expliqué comment on entretenait l'aimantation des deux pôles de l'électro-aimant E, E'. Cette aimantation nécessite la circulation d'un courant électrique dans le fil qui entoure ses branches. Ce courant peut être fourni par une pile ou par une autre machine, ou encore (et c'est le cas habituel pour les dynamos à courant continu) par la machine elle-même, qui est dite *auto-excitatrice*. En effet, on remarquera, en considérant attentivement la figure 1, qu'une partie du courant électrique produit par la machine, bifurque pour se rendre dans le fil *ff* qui, partant de l'un des balais *d*, s'enroule successivement autour des noyaux E/E de l'électro-aimant pour revenir à l'autre balai *d'*, ce qui entretient ces noyaux dans un état permanent d'aimantation.

On voit ainsi que l'aimantation continuelle des barreaux E et E', qui est indispensable pour qu'il se développe des courants électriques dans les bobines de fil du tambour B quand on le fait tourner, ne peut se produire que sous l'influence de ces courants eux-mêmes. Il paraît donc y avoir ici un cercle vicieux, puisque d'une part c'est le magnétisme produit dans les barreaux E et E' qui permet d'obtenir des courants dans le tambour B, et que d'autre part ce sont ces mêmes courants qui donnent l'aimantation aux barreaux de l'*électro-aimant*. Et dès lors, on peut se dire que, quand on mettra la machine en marche, comme il ne passait pas de courant dans les fils *ff*, lorsqu'elle était au repos, il n'y aura pas de magnétisme dans l'électro-aimant, et que, par suite, on aura beau imprimer au tambour un mouvement aussi rapide qu'on voudra, il n'y aura aucune production de courant dans les bobines. Cela serait rigoureusement exact si le

fer dont sont faits les barreaux E et E' ne conservait toujours un peu de magnétisme, qu'on appelle pour cette raison *magnétisme rémanent*.

Cette petite aimantation résiduelle de tout fonctionnement antérieur de la machine suffit pour l'amorcer. En effet, quand on commence à mettre le tambour en mouvement, il s'y produit, grâce à ce magnétisme rémanent, un courant faible qui renforce l'électro-aimant; ce dernier étant plus aimanté, les courants développés dans le tambour augmentent, et ainsi de suite, de sorte qu'au bout de quelques instants, la machine donne toute la quantité d'électricité qu'elle peut donner.

TRAVAIL PRODUIT PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE

On sait qu'un certain volume d'eau tombant, d'une certaine hauteur, produit un travail que l'on peut recueillir et utiliser à l'aide des roues hydrauliques ou des turbines. L'énergie ainsi engendrée est mesurée par la *quantité d'eau* qui s'écoule sous une *pression* déterminée par la hauteur de la chute, et est exprimée par le produit du volume par la *pression*.

Mais on peut obtenir la même énergie avec un volume d'eau moitié moindre à condition de doubler la pression, car dans ce cas le produit de ces deux facteurs (volume et pression) n'a pas changé de valeur.

De même une certaine quantité d'électricité s'écoulant, sous une certaine pression, donne un travail mesuré par le produit de ces deux termes (quantité et pression) et cette énergie sera la même que précédemment si la quantité écoulée étant moitié moindre, la pression a été doublée, car le produit restera le même.

Ainsi un courant électrique peut produire un travail égal au produit de la quantité d'électricité écoulée par sa tension.

PUISSANCE DU COURANT ÉLECTRIQUE

On appelle Puissance un travail produit en une seconde. L'unité électrique de puissance s'appelle *watt*. La puissance (en watts) d'un courant électrique est égale au produit de son intensité (évaluée en ampères) par la tension (évaluée en volts).

$$W = IE.$$

Ainsi un courant d'une intensité de 5 ampères sous une tension de 20 volts donne une puissance de $5 \times 20 = 100$ watts.

Une puissance électrique équivaut à une puissance mécanique.

Cette équivalence peut se chiffrer en remarquant que d'après le choix que l'on a fait des unités électriques, 736 watts produisent le même effet qu'un cheval-vapeur ou que 75 kilogrammètres; de sorte que notre puissance de 100 watts calculée plus haut vaut $100 : 736 = 0,136$ cheval-vapeur ou $100 : 75 = 1,33$ kilogrammètre.

Rien n'est plus facile, comme on le voit, que d'exprimer une puissance électrique en puissance mécanique et réciproquement.

Étant donnée une puissance électrique ($W = IE$) à transporter, on peut disposer des deux facteurs du produit.

Si on augmente E , l'intensité à transporter (I) diminue. Or on démontre par le calcul que la perte d'énergie due au conducteur est d'autant plus faible que l'intensité est moindre. On a donc intérêt à employer l'électricité à haute tension.

FORCE NÉCESSAIRE POUR LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Il est un principe qui régit tous les phénomènes naturels, c'est celui de la *conservation de l'énergie*, autrement dit dans un langage plus familier, rien ne se crée et rien ne se perd.

Le développement d'un travail quelconque ne se fait qu'au prix d'une dépense d'énergie au moins équivalente ; et nous en avons la preuve évidente dans toutes les opérations que nous exécutons : voulons-nous soulever un fardeau, nous faisons développer à nos muscles un effort égal à la force nécessaire pour soulever ce fardeau ; pour traîner un train au moyen d'une locomotive sur une voie ferrée, il faudra que la machine développe une puissance d'autant plus grande que le train est plus lourd, que la voie a une rampe plus forte, etc. ; cette énergie dépensée est fournie par un poids proportionnel de charbon brûlé dans le foyer de la chaudière.

Voilà des exemples qui montrent que, pour produire un travail mécanique, il faut pouvoir disposer d'un effort mécanique au moins égal, car, dans toute transformation, il faut compter sur une certaine perte.

Nous avons établi que l'électricité est une force, il faut donc pour la produire développer une autre force au moins égale, et cela est tellement vrai qu'on éprouve une résistance d'autant plus grande à faire tourner l'armature de la machine que l'on recueille et que l'on emploie une plus grande quantité d'électricité dans les appareils d'utilisation.

Si donc cette électricité ainsi recueillie est transformée en lumière, on aura à développer un effort mécanique d'autant plus grand pour faire tourner l'armature, qu'il y aura un plus grand nombre de foyers lumineux en activité.

Ainsi, pour maintenir allumées 15 lampes à incandescence de 10 bougies de puissance lumineuse, il faut leur fournir une quantité d'électricité que la machine électrique ne peut produire qu'autant qu'on disposera d'une force mécanique de un cheval-vapeur pour faire tourner son armature. On voit de suite que les usines d'électricité, installées pour distribuer la lumière, ont besoin de moteurs puissants.

Pour maintenir allumées 4,500 lampes, il faudrait un moteur de 400 chevaux.

Dans les conditions habituelles de la pratique, il faut compter sur une perte de 5 0/0 dans la transmission de la force de la machine motrice à la dynamo ; sur une perte de 10 0/0 pour la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique dans cette dynamo ; sur une perte de 5 à 10 0/0 dans la canalisation qui amène l'électricité aux appa-

reils d'utilisation, quand il s'agit d'une distribution urbaine.

A l'aide de ces données, on peut calculer facilement ce que produit en électricité utilisable une machine à vapeur de puissance donnée, soit de 1,000 chevaux par exemple. La dynamo recevra en énergie mécanique une puissance de 1,000 — $(0,05 \times 1,000) = 950$ chevaux. Elle restituera en énergie électrique une puissance de $950 - (0,10 \times 950) = 855$ chevaux. Enfin, il arrivera aux appareils d'utilisation une énergie électrique équivalente à une énergie mécanique donnant une puissance de $855 - (0,05 \times 855) = 812,25$ chevaux (en admettant une perte de 5 0/0 seulement dans la canalisation). Ainsi, sur 1,000 chevaux employés pour faire tourner la dynamo, il en restera 812,25 qui seront utilisables sous forme d'électricité et que l'on peut évaluer en unités électriques, comme il a été expliqué plus haut.

Les considérations qui précèdent et qui ont pour but de faire comprendre au lecteur que, pour engendrer de grandes quantités d'électricité, il faut pouvoir disposer de grandes forces mécaniques, nous amènent naturellement à dire comment sont installées les usines centrales d'électricité.

USINES OU STATIONS CENTRALES D'ÉLECTRICITÉ

Une usine ou station centrale d'électricité doit se composer, comme nous venons de le voir, de dynamos, qui engendrent le courant électrique, et de moteurs qui font tourner les parties mobiles ou *armatures* de ces dynamos.

Les moteurs peuvent être des roues hydrauliques ou des turbines, des moteurs à gaz ou des machines à vapeur.

Toutes les fois qu'on peut employer des moteurs hydrauliques, on se trouve dans d'excellentes conditions au point de vue du prix de revient, puisque l'on n'a pas à dépenser de houille. C'est heureusement le cas pour certaines localités qui ont pu ainsi s'offrir à peu de frais une distribution d'électricité.

Les moteurs à gaz d'éclairage, malgré tous les perfectionnements qu'on leur a fait subir, ne sont pratiques et éco-

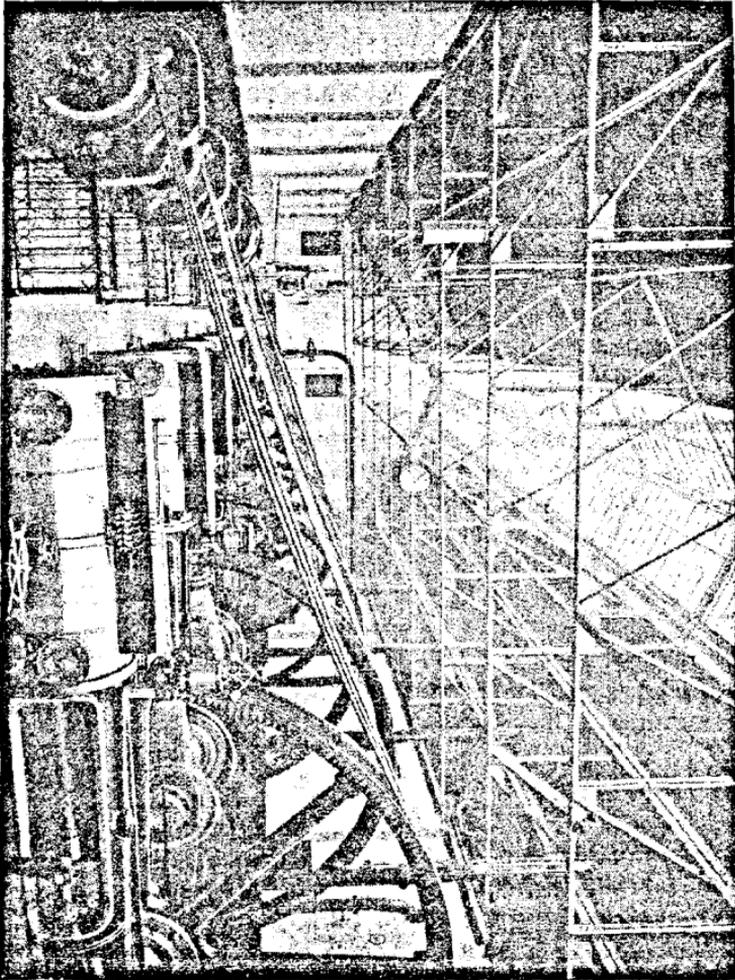


Fig. 2. — Vue inférieure d'une station centrale d'énergie électrique.

nomiques que pour la production de petites forces; d'une façon générale, ils n'ont donc pas leur place dans une station centrale où l'on doit développer plusieurs milliers de chevaux. Il n'en est pas de même des moteurs à gaz pauvre qui,

pour des puissances de 30 chevaux et au delà, sont au moins aussi avantageux que les machines à vapeur.

Quand on ne possède pas de chutes d'eau, il faut donc employer soit des moteurs à gaz pauvre, soit des moteurs à vapeur. Dans ce dernier cas, le matériel mécanique de la station d'électricité se compose de chaudières qui produisent la vapeur et de moteurs qui transforment la force élastique de cette dernière en travail mécanique.

Ce que l'on doit demander à ces moteurs, c'est d'avoir une vitesse bien régulière; aussi les constructeurs de machines à vapeur se sont-ils appliqués à construire des types spécialement appropriés à la conduite des dynamos.

Cette conduite se fait à l'aide de courroies ou de cordes réunissant le volant de la machine à la poulie de la dynamo ou directement en accouplant le moteur et la machine électrique par un manchon élastique. Enfin on a récemment imaginé de constituer le volant même de la machine à vapeur par l'induit ou partie tournante de la dynamo, la partie fixe ou inducteur entourant le volant. On y trouve l'avantage de supprimer la transmission et, par suite, de diminuer les pertes de puissance qui en résultent forcément. On arrive ainsi à constituer des appareils appelés dynamos-volant.

La fig. 2 représente la vue intérieure d'une station centrale importante comprenant d'une part une série de machines à vapeur, d'autre part des dynamos conduites par elles à l'aide de cordes.

Les courants électriques engendrés par chacune de ces dynamos et recueillis par des conducteurs reliés à leurs bornes sont amenés à un tableau où on les *contrôle*, où on les *mesure* et d'où on les distribue.

Ces derniers mots demandent une explication.

MESURE ET CONTROLE DU COURANT ÉLECTRIQUE

Nous avons dit plus haut que dans les usines d'électricité, le courant fourni par chaque machine dynamo est amené à un tableau de distribution. Ces courants partiels peuvent être

groupés suivant les besoins et tout ou partie du courant total peut être dirigé dans les conducteurs qui alimentent les lampes.

L'intensité et la tension de chacun de ces courants partiels ou du courant total sont mesurées à chaque instant par des appareils appelés *ampèremètres* et *voltmètres* dont le nom s'explique, de lui-même puisque nous avons dit que l'unité de mesure de l'intensité est l'*ampère* et que celle de la tension est le *volt*.

Grâce aux indications constantes fournies par ces appareils, on saura quelle est la valeur de l'intensité et de la pression ou tension du courant électrique envoyé au tableau par les dynamos, et on pourra au besoin modifier leur régime de marche pour ramener cette intensité ou cette pression au taux nécessaire. On saura de même très exactement quel est le courant que l'on envoie du tableau dans les conduites de distribution qui alimentent les lampes, et on sera par conséquent en mesure de régler ce courant comme il doit l'être pour que les lampes puissent fonctionner dans de bonnes conditions.

En un mot on possède, comme on le voit, pour l'électricité, des appareils précis et infaillibles de mesure et de réglage.

DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Pour conduire l'électricité produite par les machines, du tableau de distribution, où on la centralise pour ainsi dire, aux appareils d'utilisation, c'est-à-dire aux lampes électriques, on se sert de conducteurs métalliques (fils ou câbles) qui sont l'analogie des tuyaux pour la conduite de l'eau ou du gaz.

Or on proportionne le diamètre de ces tuyaux à la quantité d'eau ou de gaz qu'ils doivent débiter; et ce diamètre dépend aussi de la pression sous laquelle se fait l'écoulement de ces fluides. Il en est de même des conducteurs d'électricité dont le diamètre peut être d'autant moindre que la tension ou la

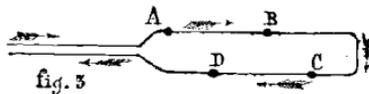
pression de l'électricité est plus grande, ce qui explique pourquoi, lorsque la distance est très considérable, on a toujours recours à l'électricité de haute tension. On fait ainsi une économie sur le poids du cuivre dont sont formés ces conducteurs et par suite sur la dépense de l'installation.

Mais là où la distribution de l'électricité diffère un peu de celle de l'eau, c'est qu'il faut toujours lui ménager son retour à la source. Si on se reporte à la figure 1 qui représente la machine électrique et à ce que nous avons dit plus haut, nous voyons que le courant électrique partant de la borne positive b' circule dans le fil F, traverse l'appareil A qui représente, si on veut, une lampe électrique et revient enfin à la borne négative b . Ces conducteurs, l'un d'*aller*, l'autre de *retour*, peuvent être ou aériens et supportés par des poteaux et des isolateurs comme les fils télégraphiques, ou souterrains et contenus, dans ce cas, dans des caniveaux le plus généralement.

C'est ce dernier mode d'installation qui est adopté dans les grandes villes, comme Paris, afin d'obéir à certaines préoccupations d'esthétique et aussi pour ne pass'assujettir à la pose de nombreux supports sur les toits des maisons. Mais le système aérien, étant infiniment moins coûteux, est, avec raison, choisi dans les villes de province où ces considérations ont moins de valeur qu'à Paris.

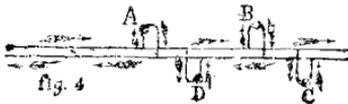
Il nous paraît complètement inutile pour le public de savoir quelles sont les diverses règles techniques qui doivent présider à la pose de ces conducteurs électriques : c'est là affaire à l'ingénieur ; mais, par contre, il n'est pas indifférent de faire remarquer que l'on peut disposer les appareils, auxquels il s'agit de distribuer le courant électrique, de différentes façons par rapport aux deux conducteurs d'*aller* et de *retour* de ce courant.

Nous supposons, pour fixer les idées, qu'il s'agisse d'alimenter 4 lampes, et nous prions le lecteur de jeter simplement les yeux sur les figures 3, 4 et 5 qui donnent les trois moyens d'alimenter ces lampes que nous avons représentées par des ronds et désignées par des lettres A, B, C, D. — Le sens de la marche du courant étant indiquée par des



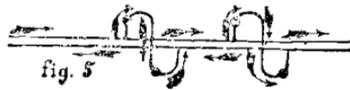
flèches, on voit que dans le premier cas (fig. 3), l'électricité traverse successivement les lampes qui sont dites *montées en série*. C'est le système de montage qui nécessite la moindre longueur de fil; mais il présente un inconvénient grave, c'est que si l'une des lampes vient à ne plus fonctionner, le courant se trouvant interrompu en ce point, toutes les autres lampes s'éteignent à moins de les pourvoir d'un dispositif spécial. En un mot, toutes les lampes sont dépendantes les unes des autres.

Dans le cas du *montage en dérivation* (fig. 4) chaque lampe étant alimentée par une dérivation prise sur les deux conducteurs principaux, l'une quelconque d'entre elles peut s'éteindre sans que pour cela l'extinction des autres s'en suive nécessairement



puisqu'elles sont indépendantes.

Enfin le troisième système, qui est représenté par la fig. 5, participe des deux précédents; on voit que les lampes sont groupées deux à deux; les lampes de chaque groupe sont montées en série, mais le groupe est en dérivation sur les deux conducteurs principaux, de sorte que l'extinction de l'une des lampes n'entraîne nécessairement que celle de l'autre qui est dans le même circuit dérivé.



Ces trois systèmes de montage sont employés et leur choix dépend des conditions du problème. Ainsi, s'il s'agit de l'éclairage extérieur d'une grande gare au moyen de lampes à arc, ces lampes étant généralement placées à une grande distance les unes des autres, il y a intérêt, pour réduire autant que possible la dépense, à employer la moindre longueur de fil. On choisira donc, dans ce cas, le système de montage en série (fig. 3) ou celui qui comprend des groupes dérivés de lampes en série (fig. 5). Comme, d'ailleurs, dans l'hypothèse où nous nous sommes placé, l'allumage et l'extinction de toutes les lampes se fait en même temps, le système en série convient. Cependant, pour éviter que, par suite d'un accident arrivant à l'un des appareils, toute la gare ne se trouve subi-

tement plongée dans l'obscurité, on peut employer deux fils d'aménée du courant desservant chacun une lampe de deux en deux comme le montre la figure 6 et prendre un fil commun de retour (ce fil est représenté sur le dessin en traits interrom-

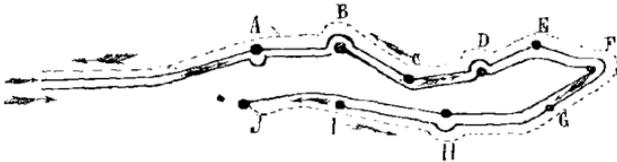


Fig. 6.

pus). Si l'une des lampes, A par exemple, s'éteint, elle n'entraîne que l'extinction des lampes C, E, G, I desservies par le même fil qu'elles, les autres restant allumées.

Si au contraire il s'agit de desservir des lampes dans un appartement, comme les heures d'extinction et d'allumage sont des plus variables, c'est évidemment le système de montage en dérivation de la figure 4 qui s'impose.

En tout état de cause on voit que l'on dispose des moyens nécessaires pour faire une distribution d'éclairage électrique répondant à tous les besoins de la pratique.

Arrivons maintenant aux appareils d'éclairage eux-mêmes et rendons-nous compte de leur mode de fonctionnement.

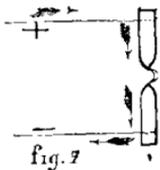
LES LAMPES ÉLECTRIQUES

On emploie deux sortes de lampes : 1^o les *lampes à arc* qui produisent une grande quantité de lumière et sont par conséquent propres à l'éclairage des vastes espaces couverts ou découverts : gares de chemins de fer, grands magasins, halles à marchandises, cours, places publiques, rues, etc ; 2^o les *lampes à incandescence* qui permettent de diviser la lumière autant qu'on le désire, puisque l'on fait des lampes qui produisent de 1 à 30 bougies, et qui, par conséquent, sont à employer pour les éclairages d'intérieur : appartements, salles de spectacle, etc., etc. Nous allons voir que ces noms de

« lampe à arc » et de « lampe à incandescence » sont justifiés par le mode même de production de la lumière.

Lampes à arc. — Tout le monde a appris au lycée ou à l'école que si l'on met en regard, pointe à pointe, deux crayons de charbon taillés auxquels on fait arriver les deux conducteurs partant de la borne positive et de la borne négative d'une source d'électricité suffisamment puissante (pile ou machine), il se produit entre ces deux pointes un arc lumineux d'un grand pouvoir éclairant dès qu'après les avoir mis en contact on les sépare. Cet arc subsiste tant qu'on n'écarte pas les crayons au delà d'une certaine limite (fig. 7). En effet, le courant électrique qui suit le chemin indiqué par des

flèches sur le croquis chauffe les pointes des charbons au point de les rendre incandescentes et des particules se détachent du charbon relié au pôle positif de la source d'électricité pour se transporter au charbon relié au pôle négatif. Ces particules qui voyagent ainsi forment un arc de lumière éblouissante et on remarque que le bout du charbon positif se creuse, tandis que le bout du charbon négatif s'allonge légèrement.



Quelle est la cause de cet échauffement et, par suite, de ce transport de particules incandescentes ?

C'est ce que nous allons expliquer en ayant encore une fois recours à une comparaison.

Quand on foule, sous une certaine pression, une quantité d'eau dans un tube trop peu large pour qu'il puisse débiter cette eau, le tube éclate; il se produit en effet une résistance à l'écoulement de l'eau telle que la force due à son débit et à sa pression s'exerce contre les parois du tube et en produit la rupture. De même si le courant électrique, dont la puissance résulte de la quantité d'électricité et de sa pression, se propage dans un conducteur suffisant, il ne se produit aucun phénomène extérieur; l'écoulement du fluide électrique s'opère normalement; cependant l'électricité éprouve toujours une perte de tension par son passage à travers le conducteur; et l'énergie qui semble ainsi perdue se retrouve sous forme de chaleur; la température du conducteur s'élève. Mais si, en un point quelconque, le conducteur présente une résistance trop

grande, l'électricité ne trouvant plus un passage suffisant à son écoulement, la force que représente ce courant est employée en partie à détruire cet obstacle. Il se produit un travail qui, exercé sur cette partie moins conductrice du conducteur, se traduit extérieurement par un échauffement assez considérable pour produire son incandescence.

Dans le cas de la lampe à arc constituée comme nous l'avons vu par les deux crayons de charbon, le courant électrique éprouve une grande difficulté à passer d'un crayon à l'autre quand ils sont jointifs, puisque la section d'écoulement se réduit presque à un point; donc il y a échauffement suffisant pour porter le charbon au rouge. Quand on vient à écarter légèrement les pointes des crayons, la résistance devient telle que l'étincelle électrique jaillit entre les deux pointes qui sont portées ainsi au rouge éblouissant. Il y a en même temps combustion des charbons par l'oxygène de l'air et transport par le courant des particules incandescentes de charbon. Ces dernières étant transportées par le courant lui-même constituent une sorte de portion de conducteur, très résistant, il est vrai, mais suffisant pour qu'il n'y ait pas interruption complète du courant. Ce n'est qu'à partir d'un certain éloignement que la rupture est complète et alors la lumière disparaît naturellement.

On voit donc que pour assurer le fonctionnement d'une lampe électrique à arc il faut un mécanisme qui, lorsqu'aucun courant ne passe dans l'appareil, laisse venir au contact les deux crayons de charbon, puis qui, lorsque le courant a été amené à la lampe et que, par conséquent, les deux pointes en contact se sont échauffées au point de rougir, éloigne les dites pointes de la quantité voulue pour permettre à l'arc lumineux de se former. Il faut de plus que ce mécanisme rapproche les charbons au fur et à mesure qu'ils s'usent par la combustion,

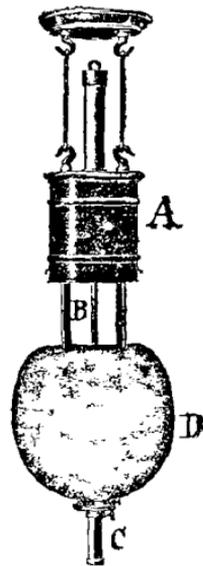


Fig. 3. — Lampe à arc.

de façon à empêcher l'extinction qui surviendrait, comme nous l'avons expliqué plus haut, si l'écartement dépassait une certaine limite.

Autrefois, ce mécanisme régulateur de la distance des charbons n'avait rien d'électrique : il consistait en un mouvement d'horlogerie ; mais, actuellement, c'est le courant lui-même qui règle l'écartement auquel doivent se maintenir les deux crayons et on est arrivé ainsi à combiner une quantité considérable de modèles de lampes qui ne diffèrent que par des dispositions de détail et qui remplissent cette double condition de simplicité et de bon fonctionnement, sans laquelle l'éclairage électrique n'aurait pu prendre le développement prodigieux auquel nous assistons depuis vingt ans.

Le mécanisme en question est enfermé dans une boîte métallique de dimensions réduites, telle que celle qui est représentée en A sur le dessin de la fig. 8. Les deux crayons de charbon sont maintenus en place par deux porte-charbons B et C, et l'arc voltaïque, qui jaillit entre leurs pointes et qui produit une lumière éclatante difficile à fixer à l'œil nu, est généralement protégé par un globe dépoli D, quand on veut en atténuer la vivacité et obtenir une lumière diffuse.

La valeur de cette lumière, au point de vue éclairant, varie de 26 carcels ou 260 bougies, à 600 carcels ou 6,000 bougies, suivant l'intensité du courant qui est envoyé dans l'appareil, et le diamètre des charbons.

La puissance électrique nécessaire dans le premier cas équivaut à une puissance mécanique d'environ $1/3$ de cheval-vapeur, dans le deuxième cas à 6 chevaux-vapeur.

La lampe électrique à arc voltaïque est désignée souvent aussi sous le nom de *Régulateur*, parce que sa partie essentielle consiste, comme nous venons de le voir, en un organe régulateur de l'écartement des charbons. C'est un appareil assez compliqué.

Lampes à incandescence. — Il n'en est pas de même de la lampe à incandescence imaginée par Edison vers 1879, et qui consiste simplement en une petite ampoule de verre de 8 à 9 centimètres de longueur et de 4 à 5 centimètres de diamètre, dans laquelle on a introduit un filament très mince de charbon A, contourné comme le montre le dessin, et

dont les deux extrémités sont montées sur deux conducteurs métalliques BB' (fig. 9).

On bouche soigneusement cette ampoule, après y avoir fait un vide aussi complet que possible (et presque absolu) et c'est aux deux conducteurs métalliques BB', qui traversent le bouchon étanche de l'ampoule, qu'on attache en C, C' les fils F, F' d'amenée et de retour du courant électrique.

Dès que le courant électrique passe du fil F, venant de la borne positive de la source d'électricité, au fil F' allant à la borne négative de cette même source après avoir parcouru le filament de charbon A, ce dernier rougit au blanc, devient par suite incandescent et répand une vive lumière pendant tout le temps que le courant passe.

Comment expliquer cet effet ? Toujours en se rappelant ce que nous avons dit plus haut, que : toutes les fois que dans un circuit parcouru par un courant il se trouve une partie de ce circuit offrant une résistance plus grande au passage du courant électrique, le travail de ce dernier se transforme partiellement en chaleur.

Or, le filament de charbon A, dans le cas de la lampe à incandescence, constitue justement une partie offrant une grande résistance à la circulation du courant, par la double raison que le charbon est *bien moins conducteur de l'électricité* que le métal qui amène le courant de la source d'électricité en B et le ramène de B' à cette source, et que ce filament est *extrêmement mince*.

La chaleur produite par le travail développé par le courant, pour vaincre la résistance qu'on oppose ainsi à sa circulation, est donc assez grande pour faire rougir au blanc le filament de charbon, et ce dernier serait immédiatement brûlé s'il était dans l'atmosphère. C'est ce qui arrive, en effet, toutes les fois que l'air peut entrer dans l'ampoule de verre ou que le vide n'a pas été assez complètement fait. Mais

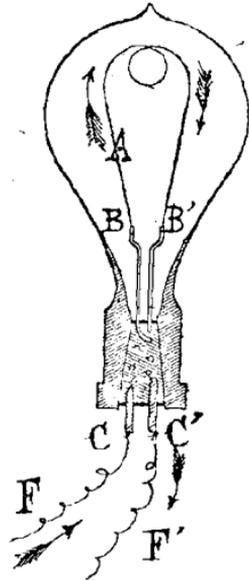


Fig. 9. — Lampe à incandescence.

cette combustion ne se produit pas dans le vide, puisque l'agent indispensable à toute combustion est l'oxygène de l'air.

Ce n'est pas à dire que le filament de charbon puisse durer indéfiniment, car il se désagrège sous l'influence du passage prolongé du courant et, d'ailleurs, le vide ne peut jamais être théoriquement parfait; mais cette durée varie de 800 à 4,000 heures et comme le prix d'une lampe est descendu actuellement à 1 franc ou 1 fr. 10, on voit que la dépense afférente au remplacement de la lampe, après le laps de temps que nous venons d'indiquer, ne représente par heure d'éclairage qu'une somme très minime, variant de 0 fr. 0012 à 0 fr. 001.

A ce prix, il faut ajouter celui du courant électrique fourni à la lampe; or, la puissance électrique nécessaire à l'alimentation d'une lampe de 16 bougies, qui est le type le plus employé, étant de 64 watts, et l'énergie électrique se vendant à Paris à raison de 1 franc les 4,000 watts, on voit que ces 64 watts représentent une dépense horaire de 0 fr. 064 qui, ajoutée au millime calculé plus haut, donnent une dépense finale de 6 centimes et demi pour la lampe, par heure d'éclairage. Mais ce sont là des prix forts; dans beaucoup de villes de province on vend l'électricité à raison de 0 fr. 50 seulement les 4,000 watts et, dans ce cas, la lampe-heure de 16 bougies ne coûte plus que 0 fr. 033, y compris le remplacement des lampes.

AVANTAGES DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE SUR LES AUTRES MODIS D'ÉCLAIRAGE

Les avantages de la lumière électrique, comparativement aux autres modes d'éclairage, sont nombreux et peuvent légitimer son emploi malgré son prix de revient plus élevé. C'est d'abord l'absence dans les appartements de tous les gaz nuisibles qui résultent de la combustion de la bougie, de l'huile, du pétrole ou du gaz; en effet, dans le cas de la lampe

à incandescence, il n'y a pas de combustion et, dans le cas de la lampe à arc, la quantité de charbon brûlé est excessivement faible. C'est ensuite l'absence à peu près complète des dangers d'incendie et enfin la commodité d'emploi, puisque l'on n'a plus besoin d'allumer la lampe; il suffit de tourner un commutateur.

Donc, disparition complète des allumettes et des nombreux dangers auxquels donne lieu leur manipulation, et, dans le cas de l'éclairage au gaz, toute crainte écartée de ces explosions si terribles dans leurs effets quand on n'a pas le soin de prendre les précautions nécessaires.

APPLICATIONS ET DÉVELOPPEMENT DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Ces préliminaires indispensables étant bien compris, examinons comment on s'éclaire à Paris à l'électricité.

La ville a été partagée géographiquement en cinq régions appelées *secteurs*, parce qu'elles ont la forme de cette surface géométrique; elles partent du centre de la capitale et s'élargissent progressivement jusqu'à la périphérie. Chaque secteur est desservi par une ou plusieurs usines d'électricité, qui emploient toutes le courant engendré par des machines à vapeur, bien entendu. Ce courant est distribué sous des tensions différentes par des conducteurs souterrains.

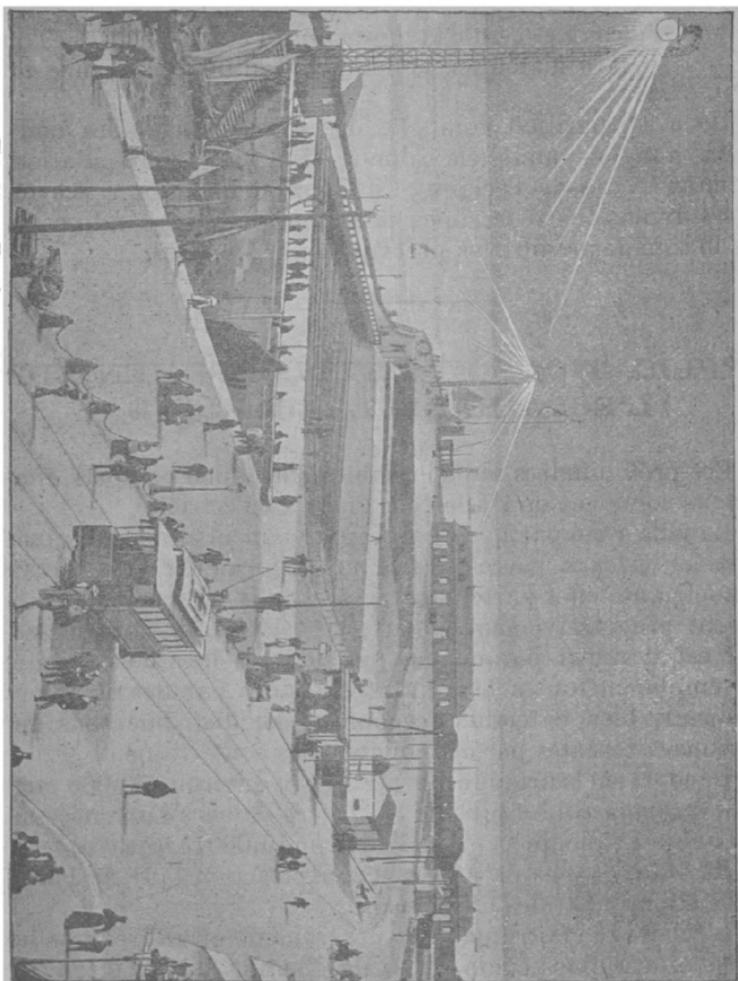
Le courant électrique alimente à Paris environ 250,000 *lampes à incandescence* et plus de 12,000 *régulateurs à arc*, nécessitant une puissance mécanique d'environ 40,000 *chevaux-vapeur*.

En 1893, il y avait en France, abstraction faite de Paris, 155 stations centrales d'électricité.

L'éclairage électrique n'est pas seulement utilisé dans les maisons; certaines compagnies de chemins de fer étrangers l'ont adopté pour leurs voitures à voyageurs et, en France, on poursuit des études pour arriver à ce même résultat. Mais les difficultés sont assez grandes, à cause même de la nature du matériel en usage; matériel composé, comme on sait, non pas de voitures à couloirs communiquant entre elles, mais bien de voitures à compartiments séparés.

— Il faut employer des *accumulateurs* (appareils dont il sera question plus loin) et là est justement le point délicat de

Fig. 10. — Vue du grand quai du port du Havre éclairé à la lumière électrique.



l'affaire, car ces appareils sont lourds, coûteux, d'un entretien difficile et d'une durée limitée. On arrive ainsi à des prix de revient beaucoup trop grands pour la lumière fournie, par heure, à chaque compartiment.

La difficulté n'étant plus la même sur les navires, où l'on dispose d'une force motrice, on a vite adopté l'éclairage électrique. La marine de plaisance et la marine de commerce commencèrent à se servir de l'éclairage électrique dès l'année 1867, avec le yacht *Jérôme-Napoléon*, et en 1868, année dans laquelle le *Saint-Laurent* fit à New-York une entrée sensationnelle. Le premier cuirassé éclairé électriquement fut le *Richelieu*, en 1883. Depuis, l'électricité a conquis à bord des navires une place importante : éclairage, manœuvres de force, etc. Le *Hoche*, le *Murceau*, le *Neptune*, de création récente, voient l'électricité répondre à tous les besoins de l'attaque et de la défense et son installation à bord des navires est absolument admirable.

Sur le littoral et dans les ports, grâce aux foyers électriques, les phares ont crû en puissance et en portée; ainsi les feux électriques de l'un des phares de la Hève, près du Havre, sont visibles à 17 lieues marines.

Les puissants foyers électriques à arc installés sur les quais des ports permettent maintenant aux navires d'entrer et de sortir à toute heure comme en plein jour et de procéder aux manœuvres de chargement et de déchargement sans aucune perte de temps, ce qui, dans bien des cas a une importance capitale pour le commerce.

La figure 10 représente le grand quai du port du Havre avec les foyers à arc qui ont été installés pour éclairer la passe d'entrée; ces lampes à arc, très puissantes, sont suspendues, comme on le voit, au sommet de pylones en fer de 20 mètres environ de hauteur, de manière à augmenter le plus possible la zone d'éclairément.

Enfin, les ingénieurs cherchent à éclairer les mines par l'électricité et à diminuer ainsi les chances d'accidents si nombreuses encore avec les lampes actuelles des mineurs.

LES ACCUMULATEURS ET LEUR EMPLOI POUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Nous avons dit plus haut, en parlant de l'éclairage électrique des voitures de chemin de fer, qu'on était amené à

employer des *accumulateurs*. Nous allons essayer de faire comprendre le mode de fonctionnement de ces appareils.

On sait que l'électricité produite par la *pile* résulte d'une action chimique, et nous avons expliqué, au début de notre étude, que l'électricité engendrée par les machines dynamo-électriques résultait au contraire d'une action purement mécanique, puisque les courants d'induction qu'on utilise étaient développés dans un tambour formé de bobines de fil de cuivre quand on imprimait à ce tambour un mouvement de rotation dans l'espace compris entre les deux pôles d'un aimant ou d'un électro-aimant.

Or, l'accumulateur électrique est, à proprement parler, une pile à laquelle on fournit de l'électricité produite généralement par une machine dynamo-électrique. Cette sorte de pile garde cette électricité, *l'accumule pour ainsi dire*, d'où le nom donné à l'appareil, et la restitue quand on réunit ses deux pôles par un conducteur métallique.

Cette propriété de l'accumulateur est basée sur l'électro-

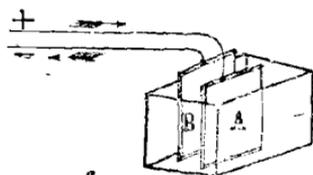


fig. 11

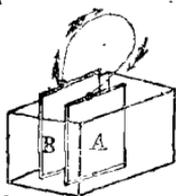


fig. 12

lyse de l'eau, c'est-à-dire sur ce fait que sous l'influence du courant électrique, passant d'une lame de plomb A (fig. 11) à une autre lame de même métal, B, placée en regard, à travers l'eau acidulée d'acide sulfurique dans laquelle elles baignent, l'eau est décomposée en ses deux éléments : oxygène et hydrogène.

Les deux gaz libres se portent chacun sur l'une des deux lames; A s'oxyde à la surface; B se recouvre de bulles d'hydrogène.

Si après avoir recouvert ainsi la

lame positive d'une couche d'oxyde de plomb, on supprime les relations avec la source, et si on les réunit toutes deux par un fil conducteur comme le représente la figure 12, la lame oxydée A se désoxyde tandis que la lame B abandonne son hydrogène, qui *réduit* l'oxyde de plomb formé et se combine avec son oxygène pour reconstituer l'eau décomposée. En même temps un courant électrique prend nais-

sance par suite de cette action chimique, et il circule de la lame B à la lame A, c'est-à-dire en sens inverse du courant qui avait servi à charger l'appareil. On a constitué ainsi une véritable *pile secondaire*. L'acide ajouté à l'eau le rend plus conductrice; il se produit en outre quelques phénomènes secondaires dus à la dissolution dans l'acide des produits formés.

La période pendant laquelle on fournit du courant à l'accumulateur se nomme *charge*. La deuxième période, où l'appareil produit du courant, se nomme *décharge*.

En réunissant plusieurs éléments de piles secondaires ou accumulateurs, on compose une *batterie* d'une puissance d'emmagasinement aussi grande qu'on le désire et qui peut rendre d'importants services, soit comme *régulateur d'une distribution d'électricité*, soit comme *réserve* en cas d'arrêt momentané des machines dynamos.

Pour faire comprendre l'utilité de ces deux modes d'emploi, ayons encore recours à une comparaison :

Quand on veut avoir à l'extrémité d'une conduite, dans laquelle on refoule de l'eau au moyen d'une pompe, un écoulement constant et régulier, il faut d'abord faire fonctionner la pompe d'une manière continue, et, de plus, il faut que le débit de cette pompe soit uniforme.

Lorsque l'une et l'autre de ces deux conditions ne peuvent être remplies, soit que la pompe ne marche qu'à certains intervalles, soit que son débit soit irrégulier, on ne peut résoudre le problème, tel que nous l'avons posé, qu'en reliant la conduite à un réservoir assez grand pour qu'il ne se vide pas entièrement pendant les intervalles de non-fonctionnement de la pompe. Ce réservoir maintenu toujours suffisamment plein, alimente la conduite d'une façon uniforme et régulière.

• Il en est de même pour une usine d'électricité qui doit fournir à une canalisation un courant d'électricité constant et uniforme; si ses dynamos ne peuvent être maintenues toujours en mouvement, si les machines à vapeur qui les actionnent n'ont pas une marche parfaitement régulière, on a dans le premier cas une interruption du courant, et dans le deuxième cas un courant irrégulier qui a pour effet de faire danser la lumière des lampes. (On peut en effet compter tous

les coups de piston de la machine en observant les variations de l'intensité lumineuse d'une lampe.)

On trouve, comme dans le cas de la conduite d'eau, la solution du problème, en envoyant le courant des dynamos, non pas directement du tableau aux lampes, mais bien dans un réservoir d'électricité qui, dans ce cas, est une batterie d'accumulateurs.

Cette batterie emmagasinant le courant, se remplissant pour ainsi dire d'électricité pendant les intervalles de marche des dynamos, peut laisser écouler cette électricité dans la canalisation à laquelle elle est reliée, sous forme d'un courant constant et uniforme.

La seule précaution à prendre, c'est d'avoir une batterie d'une puissance d'emmagasinement assez grande pour qu'elle puisse alimenter la canalisation pendant les interruptions de marche des dynamos. Comme nous le disions plus haut, la batterie d'accumulateurs joue ici le rôle de *réservoir-régulateur* du courant.

L'emploi des accumulateurs est donc à recommander dans les petites installations où les deux inconvénients ci-dessus signalés, savoir : mise en marche intermittente de l'usine, utilisation de machines motrices à allure irrégulière, se rencontrent souvent.

Dans les grandes stations centrales d'électricité qui marchent sans interruption, qui possèdent des machines parfaites, il ne saurait évidemment être question de faire passer toute l'électricité dans une batterie d'accumulateurs avant de la distribuer sur le réseau, car on serait conduit à employer des batteries immenses d'un prix fort élevé; de plus, il y a toujours une perte à compter; le *rendement* des accumulateurs, c'est-à-dire le rapport de l'énergie électrique qu'ils peuvent rendre à celle qu'on leur fournit pour les charger, n'étant guère que de 70 0/0. Mais ces batteries sont utiles comme *en cas*.

Malgré le soin apporté à une installation, on ne peut jamais être certain qu'il ne se produira pas un accident dans les machines à vapeur ou dans les dynamos, accident qui arrêterait complètement la distribution. On évite donc cet inconvénient grave en ayant une batterie assez puissante pour fournir le courant pendant une, deux ou trois heures.

le temps de réparer l'accident; puis, comme dans toute distribution il y a des moments de la journée et de la soirée pendant lesquels la consommation d'électricité est moindre, on profite de ces moments pour déverser dans les accumulateurs le courant non consommé par les abonnés. Les accumulateurs se chargent donc, pendant les heures d'éclairage, quand toutes les lampes ne sont pas allumées, et peuvent toujours être maintenus prêts à être mis en communication avec le réseau de distribution dès qu'un accident se produit.

Les accumulateurs sont, ainsi que nous venons de le montrer, des instruments précieux; malheureusement ils ont le défaut d'être lourds, encombrants, coûteux et de s'user rapidement. Ils ont un rendement relativement faible si on le compare à celui des dynamos (70 0/0 au lieu de 90 0/0); enfin ils exigent une manipulation d'acide et un entretien assez grand.

Il ne faut donc pas s'étonner si, après avoir entrevu une foule d'applications au moment de l'invention des accumulateurs, on soit un peu revenu de l'enthousiasme du début. Malgré de longues et opiniâtres études de la part de nombreux inventeurs, on n'est parvenu à augmenter sensiblement ni la durée ni le rendement des accumulateurs et on ne peut accroître beaucoup leur capacité qu'aux dépens de leur solidité. Le poids considérable de ces appareils par rapport à leur capacité est un des principaux obstacles à leur emploi pour l'éclairage électrique des voitures de chemins de fer et en général des véhicules de toutes sortes. Et tant que l'on n'aura pas obtenu de perfectionnements nouveaux, les accumulateurs ne seront employés par les stations d'électricité que dans les conditions indiquées plus haut, c'est-à-dire seulement comme régulateurs ou comme réserve de secours.

De nouvelles recherches viennent d'être faites par MM. Cailletet et Colardeau en vue d'arriver à l'accumulateur à gaz, qui présenterait, sur l'accumulateur actuellement employé, de sérieux avantages.

Le principe repose sur le pouvoir de condensation des gaz de la mousse de platine, pouvoir qui est notablement accru sous l'influence d'une très forte pression.

Sans décrire le mode pratique d'opérer, qui est encore actuellement à l'étude, on peut annoncer que ces messieurs

ont réalisé un accumulateur électrique dont ils ont mesuré la capacité, la force électromotrice et le débit.

La capacité de l'accumulateur par kilogramme de platine poreux a été trouvée, pour une pression de 580 atmosphères, égale à 56 ampères-heure, alors que la capacité pratique d'un accumulateur au plomb varie seulement de 10 à 20 ampères-heure par kilogramme de plaques. Quant à l'intensité du courant de décharge, elle peut atteindre facilement 100 ampères par kilogramme de platine.

Les résultats sont encore plus remarquables avec la mousse de palladium, qui, à la pression de 600 atmosphères, donne par kilogramme une capacité de 176 ampères-heure.

Ces résultats sont de nature à faire espérer des progrès importants dans les moyens d'emmagasiner l'énergie électrique. C'est pourquoi nous avons cru intéressant de signaler ces expériences toutes récentes.

RENDEMENT DE LA HOUILLE CONVERTIE EN LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

Et maintenant, quand on songe au nombre considérable de transformations par lesquelles on a dû passer pour produire la lumière électrique, on est en droit de se demander quel est l'effet utile de la houille qui a été brûlée pour l'obtenir.

Cette houille a été d'abord utilisée à produire de la vapeur; cette vapeur a servi à faire tourner la machine motrice; cette machine a transmis son mouvement à la dynamo; cette dernière a transformé le travail mécanique de la machine en électricité. L'électricité a été transportée par des conducteurs aux lampes; enfin ces lampes ont transformé l'énergie électrique en chaleur et en lumière.

L'effet utile de la houille servant à produire l'éclairage électrique se calculera donc en multipliant l'un par l'autre : 1^o le rendement de la machine à vapeur; 2^o le rendement de

la dynamo; 3^o le rendement de la ligne; 4^o le rendement optique des lampes. -

Or ces rendements sont respectivement :

1^o Machine à vapeur de 0,03 à 0,10;

2^o Dynamo de 0,70 à 0,95;

3^o Ligne de 0,90 à 0,95;

4^o Arc voltaïque de 0,08 à 0,12;

5^o Lampe à incandescence de 0,04 à 0,06.

On arrive ainsi à un rendement final compris entre 0,0034 et 0,0080 pour les lampes à incandescence, et entre 0,0068 à 0,016 pour l'arc voltaïque. L'emploi d'accumulateurs réduit encore ce rendement final, de 20, de 30 et même de 50 0/0.

Ainsi, dans l'état actuel de la science, dit M. Fontaine, on ne peut utiliser en radiations lumineuses que 16 pour 1,000 au maximum de l'énergie contenue dans la houille et le plus souvent que 4 à 5 pour 1,000 de cette énergie.

C'est très peu; mais de toutes les lumières artificielles connues, c'est la lumière électrique qui possède le plus grand rendement optique et presque toujours le plus grand rendement final, par suite de la haute température à laquelle elle se produit. Ceci est tellement vrai que, si au lieu d'employer le gaz directement à l'éclairage on s'en sert pour alimenter un moteur à gaz actionnant une dynamo, la lumière des lampes électriques est plus intense que celle qu'on en obtient dans les brûleurs à gaz avec la même dépense. Quelque extraordinaire que paraisse cette affirmation, elle ne saurait être discutée, le fait ayant été établi expérimentalement.



TABLE DES MATIERES

Avant-propos.....	1
Notions préliminaires.....	2
Loi d'Ohm.....	5
Production de l'électricité. — Machines dynamos.....	6
Travail produit par le courant électrique.....	10
Puissance du courant électrique.....	11
Force nécessaire pour la production de l'électricité.....	11
Usines ou stations centrales d'électricité.....	13
Mesure et contrôle du courant électrique.....	13
Distribution de l'électricité.....	16
Les lampes électriques : Lampes à arc ; lampes à incandescence..	19
Avantages de la lumière électrique sur les autres modes d'éclairage.....	24
Applications et développement de l'éclairage électrique.....	25
Les accumulateurs et leur emploi pour l'éclairage électrique.....	27
Rendement de la houille convertie en lumière électrique... ..	32

ANGERS, IMPRIMERIE A. BURDIN ET C^{ie}, 4, RUE GARNIER.

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE DES ÉCOLES ET DES FAMILLES

CONDITIONS DE VENTE

CHEZ TOUS LES LIBRAIRES
MARCHANDS DE JOURNAUX
ET DANS LES GARES

LE VOLUME : 15 CENTIMES

* Franco par la poste en s'adressant à
M. HENRI GAUTIER, Éditeur.

55, quai des Grands-Augustins, Paris

Un volume : 20 centimes ;

* 2 vol., 35 centimes ; 25 vol., 4 francs

VOLUMES EN VENTE

1. La Photographie, par A. et L. LUMIÈRE.
1. Les Fourmis, par H. MENCHREAU.
2. Les Travaux de M. Pasteur, par GUSTAVE PHILIPPON.
4. Les Parfums, par H. COUPIN.
5. Neige et Glaciers, par C. VELAINE.
6. L'Arvoisier, par H. MENCHREAU.
7. Les Ballons, par CAPAZZA.
8. Sucres, Sucrierie et Raffinerie par A. HÉBERT.
9. Les Animaux travailleurs, par VICTOR M. UNIER.
10. Les Plantes vénéneuses, par L. DUCLOS.
11. La Soie, soie naturelle, soie artificielle, par H. MENCHREAU.
12. Les Impôts sous l'ancien Régime, par L. PRÉVAUDEAU.
12. La Photographie, développement et tirage, par A. et L. LUMIÈRE.
14. Le Collectionneur d'insectes, par HENRI COUPIN.
15. L'Éclairage électrique, par E. DUMONT.
16. L'Industrie de l'alcool, par A. HÉBERT.
17. Les Microbes de l'air, par R. CANNIER.
18. La Fièvre, par le Dr GARRAND BALEZAN.
19. Le Diamant, par H. ME CEREAU.
20. La Céramique et la Verrerie à travers les âges, par CH. QUILLIARD.
21. Hygiène du Chauffage et de l'Éclairage par N. G. ÉMANT.
22. Les Impôts depuis la Révolution, par L. PRÉVAUDEAU.
23. Les Pierres tombées du ciel, par STANISLAS MEUNIER, prof. au Muséum.
24. Le Soleil, par CHARLES MARTIN.
25. Le Group par le D. LESAÏE.
26. Les Travaux d'Edison, par R. DUMONT.
27. Les Voitures sans chevaux, par E. DUMONT.
28. Iles et Récifs madréporiques, par EDMOND PRÉVIER, de l'Institut.
29. La Chimie de la table, par X. ROCQUES.
30. L'Or par H. ME CEREAU.
31. La Poste aérienne à travers les âges, par CH. SIBILLOT.
32. Les Étoiles, par CH. MARTIN.
33. Le Surmenage moderne et la Neurasthénie, par le docteur AZYGOS.
34. Le Fer, par R. JAGAUD.
35. L'Allaitement, par le docteur PODAK.
36. Les Eaux de table par le D. LUMIÈRE.
37. Les engrais chimiques, par E. ROUX.
38. Les Vers parasites de l'homme, par H. MARTIN.
39. Le Vin, par A. HÉBERT.
40. Le Pigeon messager, par CH. SIBILLOT.
41. Les Cyclones, par L. BASSON.
42. L'Hygiène de la Table par X. ROCQUES.
43. Cyclisme et Cyclistes, par H. DE GRAYFIGNY.
44. Le Ciel, par CHARLES MARTIN.
45. Les Éléments de la Céramique et de la Verrerie, par CH. QUILLIARD.
46. Les Tremblements de Terre, par VICTOR MEUNIER.
47. Les Pierres précieuses, par P. GAHNIER.
48. L'Hygiène de l'Habitation, par le Dr LAUMONIER.
49. La Navigation à voiles et à vapeur, par MICHEL-JULES VIEUX.
50. Perles et Pêcheries, par H. MENCHREAU.
51. Les Cures d'Eaux, par le Dr J. LAUMONIER.
52. Les Bains de Mer, par le Dr J. LAUMONIER.
53. Un Fléau social. L'Alcoolisme, par le Dr LÉVRAIN.
54. La Planète Mars, par C. FLAMMARION.
55. Maladies et Moyens de Défense par le Dr A. DEMOURS.
56. Le Sel, par M. ASSANDAUX.
57. Les Rayons X, par PAUL PHILIPPON.
58. Le Cuir, par M. LAMAT.
59. Les Continents disparus, par H. GUYON.
60. L'Alimentation des Plantes, leur nourriture par E. ROUX.
61. La Photographie positive sur verre et les projections lumineuses, par G. PHILIPPON.
62. Les Poisons minéraux, par E. TASSILLY.
63. La Mécanique du Cœur, par CH. CENETZ.
64. La Race bovine, par M. BROGNI.
65. Le Fond de la mer, par J. GIRARD.
66. La Culture Maraîchère, par E.-A. SPOLL.
67. La Mosaïque par E. LAURENÇIN.
68. Les Habitants des Mers antiques, par E. GUÉDE.
69. La Peste, par le Dr LAUMONIER.
70. La Bière, par A. HÉBERT.
71. Le Sang, par le Dr AZYGOS.
72. Les Poules, par E.-A. SPOLL.
73. Traitement de la Phtisie pulmonaire, par le docteur LERAY.
74. Les Volcans, par CH. MARTIN.
75. La Vigne, Sa culture, Ses maladies, par E.-A. SPOLL.
76. Les Remèdes nouveaux, par L. DUCLOS.
77. La Galvanoplastie, par H. MENCHREAU.
78. La Fabrication des Poteries, par CH. QUILLIARD.
79. La Photographie amateur en voyage, par G. PHILIPPON.
80. Les Abeilles, par CH. MARTIN.
81. Les Poisons organiques par E. TASSILLY.
82. Le Soufre et l'acide sulfurique, par H. ASSANDAUX.
83. Les Nids, par CHARLES MARTIN.

Angers. — Imp. A. Durand & C^o, 4, rue Gautier.

LIVRES DE RÉCRÉATION ET D'INSTRUCTION

à DIX et QUINZE centimes

(Suite)

BIBLIOTHÈQUE LITTÉRAIRE

DES ÉCOLES ET DES FAMILLES

(Honorée d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.)

Le volume : Dix centimes.

(Franco par la poste : 1 volume 15 centimes, 2 volumes 25 centimes.)

EXTRAIT DU CATALOGUE DES CENT VOLUMES EN VENTE :

André Chénier : Poésies (1 vol.). — *J. J. Rousseau* : Œuvres choisies (1 vol.). — *Mme de la Fayette* : La Cour de France au XVII^e siècle (1 vol.). — *Mme de Staël* : de l'Allemagne (1 vol.). — *Poètes contemporains* : Banville, Richepin, Daudet, Hérédia, Arène, etc. (1 vol.). — *François Coppée* : Nouvelles (1 vol.). — *Alphonse Daudet* : Souvenirs et Nouvelles (1 vol.). — *Jules Simon* : Colas, Colasse et Colette (1 vol.). — *Vte E.-M. de Vogüé* : Le chemin de fer transcaspien (1 vol.). — *Mme Beecher-Stowe* : La Case de l'Oncle Tome (1 vol.).

RÉCITS

DES

GRANDS JOURS DE L'HISTOIRE

Le volume QUINZE centimes

(Franco par la poste : 1 volume 20 centimes, 2 volumes 35 centimes.)

Tous les volumes sont illustrés

EXTRAIT DU CATALOGUE DES CINQUANTE-DEUX VOLUMES EN VENTE :

Deux Étapes du retour de l'île d'Elbe, par HENRY HOUSSAYE (1 vol.).
La Machine infernale de Fieschi, par MAXIME DU CAMP (1 vol.).
L'affaire du Collier de la Reine, par LAFONT D'AUSSONNE (1 vol.).
La Banque de la Rue Quincampoix, d'après SAINT-SIMON, DUCLOS, etc. (1 vol.).
La prise de l'Hôtel de Ville, (31 octobre 1870), par ALFRED DUQUET (1 vol.).
La Révolution de 1848, d'après un récit de M. THIERS (1 vol.).
Charlotte Corday et Marat (1 vol.).
Napoléon prisonnier, par le Comte de LAS CASES (1 vol.).
Les empoisonnements de la Brinvilliers (1 vol.).

Le Catalogue complet de ces collections est envoyé gratis et franco à toute personne qui nous en fait la demande par lettre affranchie.