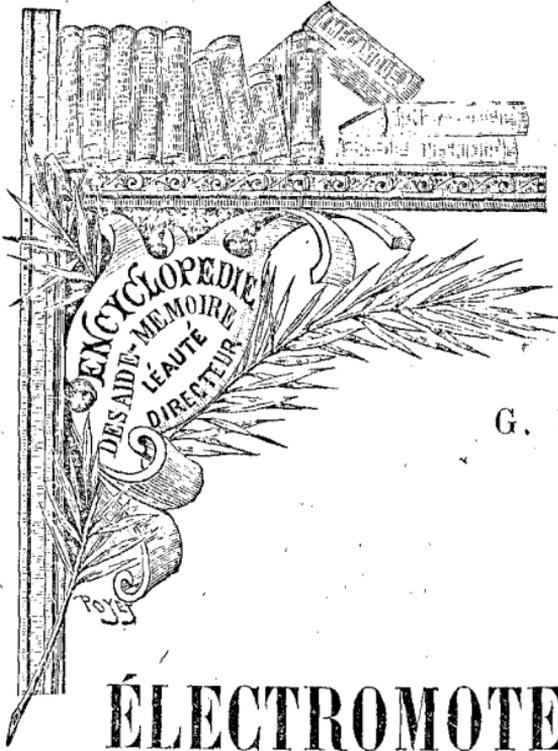


*Section de l'Ingénieur*

---



G. DUMONT

# ÉLECTROMOTEURS

## LEURS APPLICATIONS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

MASSON ET C<sup>ie</sup>

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

## Section de l'Ingénieur

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

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

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

DUMONT — Électromoteurs et leurs applications

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° 188 B

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

---

# ÉLECTROMOTEURS

ET LEURS APPLICATIONS

PAR

G. DUMONT

Ingénieur des Arts et Manufactures  
Vice-Président de la Société des Ingénieurs civils



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,	MASSON ET C <sup>ie</sup> , ÉDITEURS,
IMPRIMEUR-ÉDITEURS	LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120
(Tous droits réservés)	



# PREMIÈRE PARTIE

---

## DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE DANS UNE USINE

**1. Procédés actuellement employés.** — La distribution de l'énergie mécanique dans une usine et plus généralement dans un établissement industriel peut se faire par les divers procédés suivants :

1° Au moyen d'organes mécaniques (engrenages, câbles, arbres, poulies, courroies) transmettant aux divers appareils à mettre en mouvement la puissance mécanique développée par une ou plusieurs machines à vapeur ou par un ou plusieurs moteurs hydrauliques groupés en un point central ou répartis en divers endroits de l'usine.

2° Par la vapeur produite dans une chaufferie centrale ou dans plusieurs chaufferies et envoyée

directement par des tuyaux à des moteurs à vapeur actionnant les divers appareils à mettre en mouvement.

3° Par l'eau sous pression : Une ou plusieurs machines à vapeur ou hydrauliques compriment l'eau qui est envoyée sous pression, par des conduites, à des moteurs hydrauliques placés aux endroits où la puissance doit être utilisée.

4° Par l'air comprimé : Le système, analogue au précédent, exige, comme lui, des machines pour la compression de l'air, des conduites pour le transporter et des moteurs pour actionner les appareils.

5° Par l'électricité engendrée par des machines mues par des moteurs à vapeur ou hydrauliques, et distribuée par des conducteurs à des électromoteurs qui actionnent directement ou indirectement les appareils à mettre en mouvement.

Les deux premiers procédés paraissent tout d'abord les plus logiques puisqu'ils ne nécessitent pas, comme les suivants, l'intercalation entre la source d'énergie mécanique et les appareils d'utilisation, de moteurs destinés à opérer une double transformation.

Mais, quand on examine la question de plus près, on reconnaît que ce n'est pas toujours la transmission directe qui est la moins coûteuse

et qu'elle offre, en outre, certains inconvénients.

C'est ce que nous allons montrer en étudiant sommairement chacun de ces procédés.

## **2. Distribution par organes mécaniques.**

— Ce système de transmission employé depuis fort longtemps, présente les graves inconvénients : d'absorber par frottements, glissements, etc., une partie très notable de la puissance qu'il s'agit de transmettre ; de nécessiter des installations compliquées, difficiles à changer ou à déplacer et appropriées à la forme des locaux, lesquels doivent remplir des conditions particulières ; enfin d'encombrer les ateliers et d'empêcher la vue de s'y étendre et l'air d'y circuler quand les arbres de transmission et leurs poulies sont suspendus au plafond ou posés sur colonnes.

En ce qui concerne la perte de puissance due aux frottements des arbres, poulies, courroies, etc., on a fait une série d'expériences pour pouvoir la déterminer approximativement. Il est bien évident que cette perte varie dans des limites assez étendues suivant les conditions de l'installation, du fonctionnement de l'atelier, du travail à effectuer, etc.

Mais, pour fixer les idées, nous pouvons citer

## 8 DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE DANS UNE USINE

les chiffres suivants obtenus par MM. Siemens et Halske de Berlin à la suite d'essais organisés dans leurs ateliers de Charlottenbourg.

Dans un atelier de constructions mécaniques contenant quarante-deux machines-outils mises en mouvement par des transmissions par poulies et courroies à deux et trois degrés, on a constaté un rendement industriel de 0,656 pour la transmission à deux degrés et de 0,50 pour celle à trois degrés.

Si on tient compte de la durée d'utilisation moyenne des machines-outils (ce qui est un élément important), laquelle varie dans un atelier de ce genre de 47 à 74 % de la durée totale de marche des transmissions, on arrive à un rendement industriel final de 0,50 pour les transmissions à deux degrés et de 0,30 seulement pour celles à trois degrés.

Ces chiffres sont relativement bas, encore ne sont-ils applicables qu'à des installations bien établies.

**3. Distribution par la vapeur.** — Ce deuxième mode de transmission a le mérite de la simplicité.

Un tuyautage met en relation avec les chaudières les moteurs à vapeur qui actionnent les appareils à faire mouvoir.

Il présente aussi un avantage précieux : c'est l'indépendance parfaite des divers appareils actionnés et l'absence d'organes de transformation.

Mais en regard de ces avantages il faut signaler les inconvénients suivants :

Impossibilité d'envoyer la vapeur à des ateliers éloignés de la chaufferie centrale à cause des pertes par condensation ;

Développement d'une température quelquefois excessive dans les locaux où on distribue la vapeur ;

Production dans l'atmosphère de ces ateliers d'une humidité malsaine due aux fuites légères de vapeur presque inévitables ;

Risques d'accidents pour les personnes quand une avarie survient dans le tuyautage ;

Nécessité d'avoir recours à un ensemble de tuyaux lourds et encombrants.

#### **4. Distribution par l'eau sous pression.**

— Ce système présente, comme le précédent, l'avantage de la simplicité auquel il faut joindre celui de la sécurité des appareils moteurs, de la facilité et de la précision de leur manœuvre dues au peu de compressibilité de l'eau.

Les conduites d'eau ne rayonnent pas de chaleur comme celles dans lesquelles circule la vapeur.

Mais les inconvénients à relever sont :

Le poids et l'encombrement du tuyautage ;

L'humidité constante résultant du suintement des joints ;

La congélation de l'eau dans les pays froids ;

La nécessité pour assurer un fonctionnement satisfaisant des appareils hydrauliques de maintenir l'eau à une pression élevée et constante, ce qui rend l'indépendance des appareils hydrauliques moins complète que celle des appareils à vapeur ;

La mise en pression préalable.

L'emploi des appareils hydrauliques est surtout avantageux quand on veut obtenir des mouvements lents et rectilignes.

**5. Distribution par l'air comprimé.** — Ce système diffère du précédent en ce que le fluide qui sert d'agent de transmission de la puissance est ici éminemment compressible. Au point de vue des effets produits, il est assimilable au système de distribution par la vapeur. Il présente cependant sur ce dernier les avantages suivants :

Possibilité d'allonger les conduites de distribution puisqu'on n'a pas à craindre de condensations ;

Innocuité complète des fuites du tuyautage ;

Absence d'échauffement des locaux desservis ;

Possibilité de se servir de l'air évacué par les moteurs sous une pression encore assez forte, pour l'aération des ateliers. .

Mais les inconvénients à mettre en regard de ces avantages sont :

La nécessité d'un tuyautage lourd et encombrant ;

L'obligation d'une double transformation.

**6. Distribution par l'électricité.** — Le système de distribution de la puissance motrice par l'électricité, présente sur ceux par la vapeur, l'eau sous pression et l'air comprimé les avantages suivants qui sont fort importants : La distribution peut se faire à une distance aussi grande qu'on le désire, à l'aide de conducteurs beaucoup moins encombrants que des tuyaux. Ces conducteurs étant flexibles, peuvent passer dans les endroits les plus resserrés et desservir des locaux de forme plus ou moins irrégulière ; ils ne donnent pas lieu à un développement de chaleur gênante, à des fuites malsaines ou dangereuses, comme les tuyaux d'eau ou de vapeur et sont à l'abri de la congélation.

Les électromoteurs peuvent être rendus complètement indépendants ; ils permettent de conduire des appareils avec une grande précision ; ils s'arrêtent instantanément ; ils peuvent affecter

des formes appropriées aux usages auxquels on les destine ; ils sont peu encombrants et se placent dans n'importe quelle position. Enfin leur manœuvre à distance peut être facilement réalisée.

La conduite de ces électromoteurs est facile ; le seul reproche qu'on puisse leur adresser c'est d'être plus délicats que les moteurs à vapeur, à eau sous pression et à air comprimé, et surtout de tourner à de grandes vitesses. Cette dernière propriété, qui est avantageuse quand on les destine à actionner des appareils devant tourner eux-mêmes très rapidement, devient un inconvénient quand ils doivent actionner des engins à faible vitesse, car il faut alors interposer entre les moteurs et les appareils des organes réducteurs de vitesse, ce qui est une complication et une cause de diminution de rendement.

**7. Comparaison du système électrique avec le système mécanique.** — Si maintenant on compare le mode de transmission de l'énergie mécanique par l'électricité à celui par engrenages, arbres, poulies, courroies, au point de vue du rendement final, on trouve que, dans la majorité des cas, il est plus avantageux que ce dernier, malgré la double transformation qu'il nécessite.

Des expériences ont été faites par l'Allgemeine Gesellschaft, en 1892, pour se rendre compte des rendements industriels moyens obtenus, dans les mêmes conditions, d'une part, avec des transmissions mécaniques bien établies, d'autre part, avec des transmissions électriques par groupes.

Ces expériences, dont on trouvera la description dans une note de M. E. Hartmann insérée en avril 1892 dans les *Bulletins de la Société des Ingénieurs allemands de Berlin*, prouvent que les économies réalisées par l'emploi des transmissions électriques s'élèvent de 11,8 à 32,9 % à pleine charge, à 16,7 % aux trois quarts de charge et à 18,7 % aux deux tiers de charge maxima.

Ces résultats ont été confirmés par d'autres expériences du même genre faites par la maison Siemens et Halske dans leurs ateliers de construction de Charlottenbourg et publiées par M. Richter dans les *Bulletins de la Société des Ingénieurs allemands*.

Nous avons dit plus haut, à l'occasion de l'examen du mode de transmission par engrenages, arbres, poulies, courroies, etc., que, dans les ateliers où la durée moyenne d'utilisation des machines-outils était les 62 % de la durée

#### 14 DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE DANS UNE USINE

totale de marche, on ne pouvait compter que sur des rendements industriels de 40 à 30 % suivant qu'il s'agissait de transmission à deux ou à trois degrés.

Or, dans le cas d'une transmission électrique avec moteur spécial pour chaque machine-outil, en admettant que l'on ait affaire à un électromoteur de faible puissance (185 watts) et par suite du plus faible rendement (70 %) et en comptant sur les rendements normaux de 90 % pour la dynamo primaire, de 90 % pour la ligne, et de 90 % pour la transmission mécanique de l'électromoteur à la machine-outil, on arrive au rendement final de  $0,70 \times 0,90^3 = 0,50$ , supérieur à celui de 40 % trouvé plus haut pour la transmission mécanique à deux degrés.

Dans le cas de l'emploi d'électromoteurs pour chaque machine-outil ou d'électromoteurs affectés chacun à la conduite d'un groupe d'outils dont les conditions de fonctionnement sont les mêmes, il n'y a pas à tenir compte de la durée d'utilisation, attendu que les électromoteurs sont arrêtés pendant les périodes d'inactivité et que, pendant ces périodes, on ne consomme rien.

**8. Conclusion de cette étude.** — Il résulte de cette étude générale et succincte des systèmes connus de distribution de l'énergie que celui par électromoteurs est le seul applicable dans le cas où les machines génératrices de l'usine sont forcément très éloignées des points où l'énergie doit être utilisée. Même dans le cas où l'usine génératrice est à une faible distance, il peut y avoir intérêt à adopter ce système de préférence aux autres soit en employant les électromoteurs à la conduite de groupes d'outils, soit en les utilisant à la conduite de chaque outil.

**9. Organisation d'une transmission électro-mécanique.** — Un système de distribution de puissance mécanique par l'électricité comprend :

Une station génératrice de l'électricité avec moteurs à vapeur ou hydrauliques actionnant des dynamos ;

Une canalisation d'électricité composée de câbles et fils conducteurs aériens ou souterrains ;

Des électromoteurs recevant le courant et restituant sur l'arbre de leur partie tournante, en énergie mécanique, une partie de l'énergie électrique qu'ils ont absorbée.

Les problèmes auxquels donnent lieu la construction des machines dynamo-génératrices et

## 16 DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE DANS UNE USINE

l'établissement des canalisations électriques ont été traités dans plusieurs aide-mémoire.

Nous nous occuperons donc ici exclusivement des électromoteurs et de leur application à la conduite des engins de diverses natures employés dans l'industrie.



## DEUXIÈME PARTIE

—

### ÉLECTROMOTEURS

**Classification des électromoteurs.** — Un moteur électrique ou électromoteur est une dynamo qui, au lieu de produire de l'énergie électrique quand on la fait tourner, prend un mouvement de rotation quand on la met en communication avec une source d'électricité.

Cette source peut fournir l'électricité sous forme de courant continu (dynamos à courant continu et accumulateurs) ou sous forme de courants alternatifs (alternateurs); d'où la division des électromoteurs en deux grandes catégories :

*Les électromoteurs à courant continu.*

*Les électromoteurs à courants alternatifs.*

Dans les deux cas, l'électromoteur comprend

deux parties essentielles : un *inducteur* qui crée le champ magnétique et un *induit* généralement parcourus tous deux par le courant fourni par la source d'électricité qui alimente l'électromoteur.

L'induit est généralement mobile, et l'inducteur fixe. La rotation de l'induit résulte des phénomènes d'induction régis par les lois d'Ampère et de Maxwell.

Dans certains électromoteurs à courants alternatifs, c'est au contraire l'induit qui est fixe et l'inducteur mobile : dans d'autres enfin le courant venant de la source d'électricité sert à créer un champ magnétique tournant dans un inducteur immobile et l'induit mobile constitué d'enroulements fermés est le siège d'un autre champ induit tournant qui se trouve entraîné dans le même sens que le champ tournant inducteur.

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### ÉLECTROMOTEURS A COURANT CONTINU

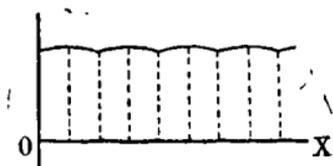
**1. Définition du courant continu.** — Avant d'expliquer le mode de fonctionnement d'un électromoteur à courant continu, il nous paraît utile de rappeler qu'on désigne sous le nom de courant continu celui dont le sens est constant, d'un pôle à l'autre.

Ce courant est caractérisé par une intensité et une différence de potentiel qui peuvent augmenter, diminuer et s'annuler, mais qui ne changent pas de signe.

Les dynamos à courant continu engendrent des courants périodiquement inversés, mais elles sont pourvues d'organes ayant pour effet de recueillir et de lancer dans la ligne les portions de ces courants qui sont de même sens, de sorte que le courant résultant est en réalité légèrement ondulé.

Si on représentait graphiquement les varia-

Fig. 1



tions de la force électromotrice de ce courant résultant en portant en ordonnées, au-dessus d'un axe des temps  $OX$ , ses va-

leurs successives exprimées en volts, on obtiendrait une ligne du genre de celle que représente la *fig. 1*.

**2. Principe de fonctionnement d'un électromoteur à courant continu.** — Considérons le cas d'un moteur bipolaire à anneau Gramme, les raisonnements qui suivront s'appliquant à tout autre type de moteur.

Cette anneau pourvu des enroulements nécessaires est mobile autour de son axe projeté en  $O$  (*fig. 2*) et placé dans le champ magnétique d'un électro-aimant dont les pôles sont en  $N$  et en  $S$ .

Le flux de force créé par ce champ se dirige d'un pôle à l'autre en se divisant en deux portions  $ff_1$  et  $f'f'_1$ , à cause de la perméabilité magnétique de l'anneau de fer.

Le flux est maximum dans le plan  $MM'$  et minimum dans le plan perpendiculaire  $NS$ .

Les spires de fil de cuivre enroulées sur l'anneau sont en nombre pair et groupées en

deux séries; elles sont reliées, comme le montre la figure, aux touches du collecteur sur lequel appuient des balais  $b$  et  $b'$  en relation avec la source d'électricité  $G$ . On voit que le courant venant de cette source entre par le balai  $b$  et circule :

1° Dans le sens indiqué par les flèches dans les spires  $A, B, C, D$ , pour sortir par le balai  $b'$ .

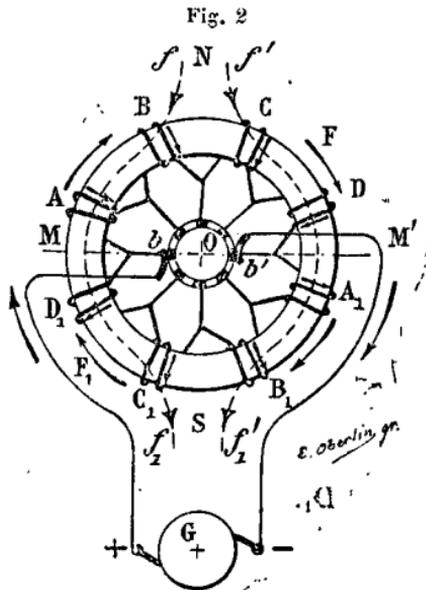
2° Dans le sens également indi-

qué par des flèches dans les spires  $D_1, C_1, B_1, A_1$ , pour sortir également par le balai  $b'$ .

Il en résulte que le flux de force créé par le passage du courant dans les spires  $C, D$ , et dans les spires  $D_1, C_1$ , est de même sens que le flux inducteur  $ff_1$  et  $f'f'_1$ .

Donc, en vertu de cette loi :

« Quand une spire conductrice parcourue par un courant est mobile dans un champ magné-



tique, elle se meut de manière à rendre maximum le flux de force embrassé par la spire », les spires C, D et  $D_1, C_1$ , vont se mouvoir vers le plan MM' où le flux de force est maximum.

L'anneau va donc tourner dans le sens des flèches F et  $F_1$ .

Quant aux autres spires A, B et  $B_1, A_1$ , elles sont parcourues par le courant venant de la source extérieure dans le sens contraire à celui du flux inducteur. Le flux de force créé dans ces spires va donc se retrancher du flux inducteur et conséquemment ces spires vont se diriger vers le plan NS où le flux inducteur est minimum. Le mouvement pris par ces spires est donc de même sens que celui pris par les spires C, D et  $D_1, C_1$ . Mais en vertu de la vitesse qu'elles ont ainsi acquise, les spires A, B et  $B_1, A_1$ , vont dépasser le plan NS et comme, à ce moment, leur position est telle que le flux créé devient de même sens que le flux inducteur, elles tendront à continuer leur mouvement de rotation pour venir dans le plan MM'.

Enfin, comme, par suite de la rotation du collecteur entre les balais frotteurs qui sont fixes, le courant se trouve inversé dans les spires de l'anneau lors de l'arrivée des spires A, B et  $B_1, A_1$ , dans le plan MM', on voit que les

phénomènes que nous avons décrits se reproduisent dans le même ordre et que le mouvement de l'anneau sera continu.

*Remarque.* — Si, au lieu d'inverser, à l'aide du collecteur et des balais, le sens du courant dans les spires A, B, C, D, et D<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, A<sub>1</sub>, à chaque demi-révolution de l'anneau on avait inversé le sens du flux inducteur, c'est-à-dire si on avait fait passer le pôle S à la position du pôle N, celui-ci à la position du pôle S et ainsi de suite ; autrement dit, si on avait fait *tourner* le champ, on aurait obtenu le même résultat et on aurait ainsi évité l'emploi d'un collecteur.

Cette remarque aidera à faire saisir l'intérêt des moteurs à champ tournant dont il sera parlé à l'occasion des moteurs à courants alternatifs.

**3. Développement d'une force contre-électromotrice dans l'induit.** — Toutes les fois qu'une spire de fil conducteur se meut dans un champ magnétique, il se développe dans cette spire une force électromotrice (c'est le principe du fonctionnement des dynamos génératrices). Dans le cas d'un électromoteur, la force électromotrice développée dans l'induit par suite de sa rotation dans le champ est de sens contraire à celle de la

source extérieure qui a provoqué le mouvement de l'induit pour les raisons expliquées plus haut.

Cette force électromotrice parasite, appelée, en raison de son action contraire, force contre-électromotrice, doit se retrancher de la force électromotrice du courant moteur et c'est la différence de ces deux forces électromotrices ( $E - e$ ) qui, divisée par la résistance électrique totale  $R$  du moteur, donne, par application de la loi d'Ohm, la valeur  $i$  de l'intensité qui traverse l'électromoteur dans le cas où l'inducteur est monté en série avec l'induit.

On a donc :

$$i = \frac{E - e}{R}.$$

La valeur de la force contre-électromotrice  $e$  développée dans l'induit pendant sa rotation dans le champ inducteur est fonction de la vitesse de rotation et de l'intensité de ce champ.

Elle est exprimée en unités CGS par la formule :

$$(i) \quad e = \frac{nN\omega\Phi}{30 \times 10^8}$$

dans laquelle :

$n$ , est le nombre de spires d'une bobine de l'induit ;

$N$ , le nombre des bobines ;

$\omega$ , la vitesse exprimée en tours par minute ;

$\Phi$ , la valeur du flux inducteur maximum passant réellement dans une spire de l'induit.

Nous disons « valeur du flux inducteur maximum *passant réellement* dans l'induit » parce que, en raison de la réaction d'induit sur l'inducteur, le flux inducteur maximum passant dans une spire de l'induit doit être diminué d'une quantité d'autant plus grande que le courant, passant dans l'induit, est plus intense.

Si donc, on représente par  $I$ , l'intensité de courant passant dans les bobines de l'électro-aimant inducteur et par  $i_a$ , l'intensité passant dans l'induit, le flux inducteur maximum *réel* sera exprimé par une formule de la forme :

$$\Phi = AI - Ki_a$$

le terme soustractif  $Ki_a$  étant, il est vrai, généralement faible dans des moteurs bien construits.

**4. Valeur de l'intensité qui traverse l'induit.** — Si nous reprenons la formule établie plus haut :

$$(2) \quad i = \frac{E - e}{R}$$

dans laquelle  $i$  est l'intensité du courant qui est absorbée par l'induit ;  $E$ , la force électromotrice du courant envoyé par la source extérieure dans cet induit pour provoquer sa rotation ;  $R$ , la résistance électrique opposée à ce courant, on aura, en remplaçant  $e$  par la valeur calculée ci-dessus :

$$i = \frac{E - \frac{nN\omega\Phi}{30 \times 10^8}}{R}.$$

De la valeur trouvée pour  $e$  (équation 1) on tire :

$$\omega = \frac{30 \times e \times 10^8}{nN\Phi}$$

et comme, d'après l'équation 2,  $e = E - Ri$ , on a cette nouvelle expression de la vitesse de l'induit :

$$\omega = \frac{(E - Ri) 30 \times 10^8}{nN\Phi}$$

en fonction de la force électromotrice aux bornes du moteur, de l'intensité du courant passant dans l'induit et des éléments constructifs du moteur.

---

## CHAPITRE II

—

### TYPES D'ÉLECTROMOTEURS A COURANT CONTINU

Les électromoteurs à courant continu employés dans l'industrie sont à auto-excitation, c'est-à-dire que le champ inducteur est produit par le courant venant de la source d'électricité.

Le courant employé à créer le champ inducteur peut être le courant total de la source ou une dérivation de ce courant ; de là, deux types bien distincts d'électromoteurs doués de propriétés différentes, savoir :

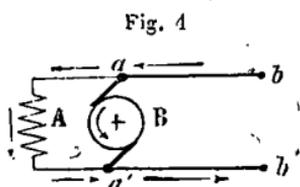
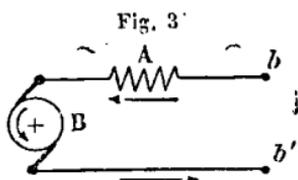
Les électromoteurs série.

Les électromoteurs shunt ou en dérivation.

Dans le moteur série (*fig. 3*) l'inducteur A est intercalé dans le circuit qui relie la borne d'entrée du courant  $b$  à l'induit B et ce dernier à la borne de sortie  $b'$  par l'intermédiaire des

balais. L'inducteur est donc traversé par la totalité du courant qui pénètre dans le moteur.

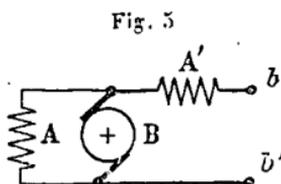
Dans le moteur shunt (*fig. 4*), l'inducteur A est monté en dérivation sur les balais de l'in-



duit B; de sorte que le courant de la source arrivant en *a* se bifurque en deux, une partie passe dans l'induit, l'autre dans l'inducteur et ces deux courants partiels se réunissent en *a'* pour sortir par la borne. *b'*. L'inducteur n'est donc excité que par une partie du courant venant de la source.

En combinant ces deux types si différents de moteurs, on obtient le moteur dit compound

dont la *fig. 5* donne le principe.



L'inducteur se compose de deux enroulements, l'un A en dérivation sur l'induit, l'autre B en série avec ce dernier.

On parvient ainsi à renforcer l'excitation ou à l'affaiblir suivant que ces deux enroulements

sont disposés de manière à produire deux flux de même sens ou deux flux de sens contraire.

Dans le cas où les deux flux sont de même sens, on peut supprimer, à un moment donné, le circuit série et le moteur fonctionne alors comme un moteur shunt.

Nous indiquerons plus loin les avantages et inconvénients de ces différents types de moteurs et les applications pour lesquelles ils sont plus particulièrement désignés.

## CHAPITRE III

—

### ÉTUDE DES ÉLECTROMOTEURS SÉRIE ET SHUNT

**1. Puissances des électromoteurs série shunt.** — Un électromoteur étant un transformateur d'énergie électrique en énergie mécanique, il y a lieu de rechercher dans quelles conditions et à quel prix s'effectue cette transformation.

Définissons d'abord les divers éléments qui doivent entrer dans le calcul.

Il faut considérer :

La puissance  $P$  fournie aux bornes du moteur sous forme d'électricité (puissance mesurée en unités pratiques par le produit  $EI$  (watts) de l'intensité et de la force électromotrice du courant arrivant aux bornes du moteur);

La puissance  $p_r$  dépensée pour produire la

rotation de l'induit (puissance mesurée également en watts par le produit de l'intensité  $i_a$  qui circule dans l'induit, et de la force électromotrice  $e$  développée dans cet induit ou en chevaux-vapeur si on divise le produit  $ei_a$  watts par 736);

La puissance  $p_c$  perdue dans la machine par suite de la transformation d'une partie de l'énergie électrique en chaleur dans les conducteurs qui composent cette machine (cette puissance est mesurée en watts par le produit de la résistance  $R$  des conducteurs traversés par l'intensité qui produit l'échauffement et du carré de cette intensité; son expression est de la forme  $Ri^2$ );

La puissance  $p_f$  absorbée par les frottements mécaniques par les courants de Foucault et l'hystérésis;

La puissance absorbée par les frottements mécaniques est proportionnelle à la vitesse  $\omega$  du moteur; celle qui est absorbée par les courants de Foucault est proportionnelle au carré du flux inducteur  $\Phi$  et au carré de la vitesse  $\omega$ ; enfin, la puissance absorbée par l'hystérésis est proportionnelle au flux inducteur et à la vitesse. La valeur de  $p_f$  est donc une fonction de  $\Phi$  et de  $\omega$  de la forme:  $a\omega + b\Phi^2\omega^2 + c\Phi\omega$ ;

## 32 ÉTUDE DES ÉLECTROMOTEURS SÉRIE ET SHUNT

Enfin  $p_u$ , la puissance mécanique utile disponible sur l'arbre de l'induit, puissance mesurée également en watts ou en chevaux-vapeur si on divise ce nombre de watts par 736 watts qui équivalent à un cheval-vapeur.

Entre les cinq quantités que nous venons de définir, il existe les deux relations suivantes :

$$P = p_r + p_c$$

$$p_r = p_u + p_f$$

d'où on tire :

$$p_u = P - p_c - p_f.$$

**2. Rendements des électromoteurs série et shunt.** — On appelle *rendement électrique*  $\eta_e$  d'un électromoteur, le rapport de la puissance absorbée par la rotation de cet électromoteur à la puissance électrique totale qui lui est fournie et on désigne sous le nom de *rendement industriel*  $\eta_i$  le rapport de la puissance mécanique utile développée à la puissance électrique totale fournie à l'électromoteur.

On a donc :

$$\eta_e = \frac{p_r}{P}$$

$$\eta_i = \frac{p_u}{P}.$$

**3. Expression des puissances et des rendements.** — Les diverses quantités que nous venons de définir sont fonction de :

I, Intensité du courant arrivant aux bornes de l'électromoteur ;

$i_a$ , intensité du courant dans l'induit ;

$i_d$ , intensité du courant dans l'inducteur ;

E, différence de potentiel aux bornes de l'électromoteur ;

$e$ , force contre-électromotrice développée dans l'induit ;

$r_a$ , résistance électrique de l'induit ;

$r_d$ , résistance électrique de l'inducteur.

Nous allons donc exprimer en fonction de ces éléments les valeurs des quantités définies plus haut, pour chacun des deux types d'électromoteurs : *électromoteur série* et *électromoteur shunt*.

*Électromoteur série.* — Si on se reporte à la *fig. 3*, on voit que l'intensité I du courant fourni aux bornes sous la différence de potentiel E est la même dans l'inducteur et dans l'induit.

Appliquant la formule générale ( $i = \frac{E - e}{R}$ ) donnée plus haut, on a pour la valeur de l'intensité I du courant qui traverse l'induit :

$$I = \frac{E - e}{r_a + r_d}.$$

On a ensuite :

$$P = EI.$$

$$p_r = eI$$

$$p_c = (r_a + r_d) I^2$$

$$p_u = EI - (r_a + r_d) I^2 - p_f = eI - p_f$$

$$\eta_e = \frac{p_r}{P} = \frac{eI}{EI} = \frac{e}{E}$$

$$\eta_i = \frac{p_u}{P} = \frac{eI - p_f}{EI}.$$

*Électromoteur shunt.* — Si on se reporte à la fig. 4, on voit qu'une partie du courant  $I$  entrant dans l'électromoteur par ses bornes passe dans l'induit, soit  $i_a$  cette partie, tandis que l'autre passe dans l'inducteur, soit  $i_d$  cette partie. La force électromotrice dans l'induit est  $E - e$ .

On a donc :

$$I = i_a + i_d$$

$$i_a = \frac{E - e}{r_a}$$

$$i_d = \frac{E}{r_d}$$

$$I = \frac{E(r_a + r_d) - e}{r_a r_d}$$

$$P = EI$$

$$p_r = e i_a$$

$$p_c = r_a i_a^2 + r_d i_d^2$$

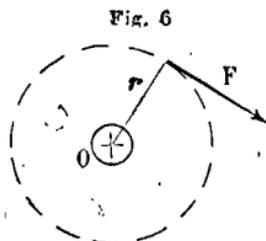
$$p_u = EI - r_a i_a^2 - r_d i_d^2 - p_f = e i_a - p_f.$$

$$\eta_e = \frac{p_r}{P} = \frac{e i_a}{EI}$$

$$\eta_i = \frac{p_u}{P} = \frac{e i_a - p_f}{EI}$$

#### 4. Comparaison des électromoteurs série et shunt. —

Au point de vue des applications dont ces deux types d'électromoteurs sont susceptibles pour la conduite des machines-outils ou d'autres engins, il est intéressant de rechercher quel est l'effort qu'ils peuvent donner au démarrage et d'examiner comment varie leur puissance mécanique utile.



*Effort au démarrage.* — Appelons  $F$  (fig. 6), la force tangentielle d'entraînement du moteur appliquée à une distance  $r$  de l'axe de l'induit ( $r$  sera, par exemple, le rayon d'une poulie montée sur l'axe de l'induit de l'électromoteur). Le moment de cette force par rapport à l'axe  $O$  sera :

$$M_r = F.r.$$

Le travail accompli par cette force  $F$  pendant une révolution de l'arbre sera :

$$2\pi r F.$$

Si le moteur fait  $\omega$  tours par minute, soit  $\frac{\omega}{60}$

tours par seconde, le travail accompli par seconde sera :

$$2\pi r \cdot \frac{\omega}{60} \cdot F.$$

Ce travail est la puissance mécanique nécessaire pour la rotation, puissance qui a été désignée plus haut par  $p_r$ . On a donc :

$$p_r = \frac{\pi\omega}{30} \cdot F \cdot r = \frac{\pi\omega}{30} \cdot M_r$$

d'où

$$M_r = \frac{30}{\pi\omega} \cdot p_r.$$

Cherchons quelle est la valeur de cet effort de démarrage pour les deux types d'électromoteurs.

Avant le démarrage, quand l'électromoteur série est immobilisé par un effort résistant considérable, la vitesse est nulle, ainsi que  $e$ , et l'intensité du courant passant dans l'induit a sa valeur maxima :

$$I = \frac{E}{r_a + r_d}$$

Mais, dès que l'effort résistant a subi une diminution suffisante pour permettre à l'électromoteur de démarrer, le moment moteur développé  $M_r$  est :

$$M_r = \frac{30}{\pi\omega} \cdot p_r$$

d'ailleurs,

$$p_r = eI$$

$$e = \frac{nN\omega\Phi}{30 \times 10^8}$$

donc :

$$M_r = \frac{nNI}{\pi \times 10^8} \cdot \Phi \cdot I.$$

Or,  $\Phi$  augmente avec le courant exciteur  $I$  des électro aimants inducteurs, donc, le moment moteur sera maximum, en même temps que  $I$ , quand l'électromoteur sera immobilisé.

L'électromoteur série *peut donc donner un fort coup de collier au démarrage*; c'est un de ses avantages.

Si nous considérons maintenant l'électromoteur shunt, immobilisé, comme le précédent, par un effort résistant suffisant, la vitesse est nulle, ainsi que  $e$  et l'intensité du courant passant dans l'induit de l'électromoteur a sa valeur maxima :

$$i_a = \frac{E}{r_a}.$$

Le moment moteur ou de rotation développé par l'électromoteur quand l'effort résistant qui lui était appliqué a suffisamment diminué pour lui permettre de démarrer, est exprimé par la relation suivante, après remplacement des

termes  $p_r$  et  $e$  par leur valeur respective :

$$M_r = \frac{nN}{\pi \times 10^8} \cdot \Phi \cdot i_a.$$

Le moment moteur acquiert son maximum en même temps que  $i_a$ , c'est-à-dire au démarrage. Mais si on compare les valeurs des moments moteurs au démarrage des électromoteurs en dérivation et des électromoteurs série, on voit que cette valeur est plus grande pour l'électromoteur série.

En effet, pour l'électromoteur série  $\Phi$  augmente avec le courant dans l'inducteur, qui acquiert, au moment de l'immobilisation, une valeur considérable, tandis que dans l'électromoteur shunt, le flux  $\Phi$  reste à peu près constant si la différence de potentiel est maintenue constante aux bornes, ce qui est le cas habituel de fonctionnement.

*Variation de la puissance mécanique utile.*  
— Il est utile de savoir pour quelle valeur de l'intensité passant dans l'induit la puissance utile mécanique développée sur l'arbre de l'électromoteur est maxima et quelle est, à ce moment, la valeur de la force contre-électromotrice  $e$ .

On voit, tout d'abord, que cette puissance

utile  $p_u$  passe par un maximum ; car elle a pour expression :

$$\begin{array}{l} \text{Pour l'électromoteur série } p_u = eI - p_f \\ \text{'' shunt } p_u = ei_a - p_f. \end{array}$$

Or, lorsque l'électromoteur est au repos  $e = 0$  et  $p_f = 0$ , puisque  $\omega = 0$  et que  $p_f$  est une fonction de  $\omega$  ; donc  $p_u = 0$ .

Dès que l'électromoteur tourne,  $e$  se développe et augmente,  $p_u$  augmente.

Mais  $p_u$  tend de nouveau vers zéro puisque  $I = \frac{E - e}{r_a + r_d}$  et  $i_a = \frac{E - e}{r_a}$  tendent vers zéro quand  $e$  augmente et se rapproche de  $E$  qu'il peut égaler à la limite.

Dans le cas de l'électromoteur série, le maximum de  $p_u$  a lieu pour  $I$  maximum, en supposant que les variations de  $p_f$  soient négligeables, ce qui a lieu dans les électromoteurs puissants et bien construits.

Écrivons la valeur de  $p_u$  sous la forme :

$$p_u = EI - (r_a + r_d)I^2 - p_f.$$

Égalons à zéro la dérivée par rapport à  $I$  des deux premiers termes de cette relation.

$$E - (r_a + r_d)2I = 0.$$

d'où

$$I = \frac{E}{2(r_a + r_d)}.$$

#### 40 ÉTUDE DES ÉLECTROMOTEURS SÉRIE ET SHUNT

La valeur de  $I$  pour laquelle  $p_u$  est maximum est égale, comme on le voit, à la moitié de celle trouvée au moment du démarrage.

Si on reporte cette valeur de  $I$  dans l'équation :

$$I = \frac{E - e}{r_a + r_d}$$

on a :

$$\frac{E - e}{r_a + r_d} = \frac{E}{2(r_a + r_d)}$$

d'où on tire :

$$e = \frac{E}{2}.$$

Quand  $p_u$  atteint son maximum, la force contre-électromotrice est égale à la moitié de la force électromotrice du courant aux bornes de l'électromoteur.

Dans le cas de l'*électromoteur shunt*, on a :

$$p_u = e i_a - p_f.$$

$$i_a = \frac{E - e}{r_a} \quad \text{ou} \quad e = E - i_a r_a$$

donc :

$$p_u = (E - i_a r_a) i_a - p_f.$$

Considérons toujours comme négligeables les variations de  $p_f$  et cherchons la valeur de  $i_a$  qui rend maximum le premier terme de cette ex-

pression en égalant à zéro sa dérivée par rapport à  $i_a$ .

On a :

$$E - 2r_a i_a = 0.$$

$$i_a = \frac{E}{2r_a}.$$

La valeur de  $i_a$  pour laquelle  $p_u$  est maximum est encore égale à la moitié de celle trouvée au moment du démarrage.

Portant cette valeur de  $i_a$  maximum dans l'équation :

$$e = E - i_a r_a$$

on a :

$$e = E - \frac{E}{2r_a} \cdot r_a = \frac{E}{2}.$$

Comme dans le cas de l'électromoteur série, le maximum de puissance de l'électromoteur shunt se produit lorsque la force contre-électromotrice atteint une valeur égale à la moitié de la force électromotrice du courant fourni aux bornes de l'électromoteur.

**5. Avantages et inconvénients des deux types d'électromoteurs.** — De ce qui précède, on peut conclure que :

L'électromoteur série est caractérisé par son aptitude à développer un grand effort au démar-

rage, sa puissance utile est maxima quand l'intensité passant dans le moteur est légèrement inférieure à la moitié de l'intensité au démarrage ; son rendement électrique varie peu.

Mais cet électromoteur a peu de stabilité d'équilibre à basse charge : quand la charge diminue beaucoup et brusquement,  $e$  augmente considérablement et la vitesse qui est fonction de  $e$  peut prendre une valeur dangereuse. Le moteur peut donc s'emballer, ce qui est un défaut capital pour certaines applications.

L'électromoteur série convient quand il s'agit de démarrer sous forte charge, quand on doit lui demander un effort à peu près constant, quand les écarts de vitesse correspondant à ceux de la charge sont admissibles, enfin, quand on n'est pas exposé à des diminutions d'effort résistant susceptibles d'entraîner une vitesse dangereuse.

L'électromoteur shunt ne peut pas développer un aussi grand effort au démarrage que l'électromoteur série, mais il est caractérisé par une grande stabilité d'équilibre et par une vitesse pratiquement constante à toutes charges. On peut obtenir une série de valeurs de la vitesse de régime. La puissance utile est maxima quand

l'intensité dans l'induit atteint la moitié de l'intensité qui y passe au démarrage.

L'électromoteur shunt convient donc quand on a besoin d'une vitesse qui varie peu, bien que l'effort à produire varie beaucoup; c'est le cas de la plupart des machines-outils dans les ateliers mécaniques.

---

## CHAPITRE IV

---

### ÉTUDE DE L'ÉLECTROMOTEUR COMPOUND

L'étude de l'électromoteur compound découle, naturellement, de celle des deux électromoteurs série et shunt dont il est la combinaison.

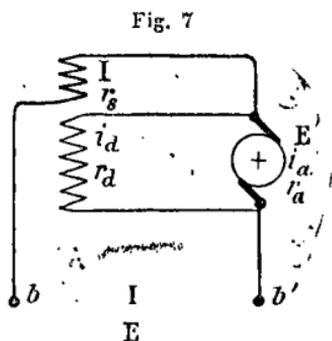
Si on se reporte à la *fig. 5*, on voit que le courant fourni aux bornes de l'électromoteur traverse la partie de l'inducteur en série et qu'une portion seulement de ce courant passe dans l'inducteur en dérivation.

Suivant le groupement donné aux deux parties du circuit inducteur, l'excitation peut être renforcée ou diminuée.

On pourrait établir, pour l'électromoteur compound, des relations analogues à celles qui ont été données plus haut pour l'électromoteur série et pour l'électromoteur shunt mais la discussion

de ces formules n'offrirait pas un grand intérêt pratique. Ce qu'il importe de faire remarquer, c'est que l'enroulement compound permet de corriger certains défauts inhérents à l'un ou l'autre des deux types d'électromoteurs série ou shunt.

Ainsi, l'électromoteur shunt possède la propriété de conserver une vitesse constante malgré les variations de la charge, à la condition que la résistance  $r_a$  de l'induit soit très faible et que la différence de potentiel  $E$  aux bornes soit maintenue rigoureusement constante. Mais on peut obtenir la même constance de vitesse pour



des charges variables, tout en admettant une certaine valeur pour la résistance d'induit et une légère variation de la différence de potentiel aux bornes, en superposant à l'enroulement en dérivation des inducteurs un certain nombre de spires en série produisant une excitation de sens inverse à celle de l'excitation shunt, ainsi que le montre la *fig. 7*.

En effet, en désignant par  $E'$  la différence de potentiel aux balais, on a :

Dans le circuit de l'inducteur série :

$$E - E' = Ir_s.$$

Dans l'induit :

$$E' - e = i_a r_a.$$

Et en additionnant ces deux expressions :

$$E - e = Ir_s + i_a r_a$$

d'où :

$$e = E - Ir_s - i_a r_a.$$

Le flux inducteur dû à l'excitation par un courant d'intensité  $I$  peut se représenter, comme on l'a vu plus haut, par une expression de la forme :

$$AI - Ki_a.$$

Dans l'électromoteur compound la portion  $AI$  du flux inducteur se compose de deux parties, l'une  $A'i_d$  due à l'intensité  $i_d$  passant dans l'enroulement en dérivation, l'autre  $A''I$  due à l'intensité  $I$  du courant fourni à l'électromoteur et passant dans l'enroulement en série.

Ces deux parties peuvent s'ajouter ou se retrancher suivant les cas.

Si l'enroulement série produit un flux de sens inverse à celui de l'enroulement shunt, on a :

$$\Phi = A'i_d - A''I - Ki_a.$$

D'autre part, l'équation qui donne la valeur de la vitesse  $\omega$  en fonction de  $e$  est, ainsi qu'on l'a établi plus haut,

$$\omega = \frac{30 \times 10^8 \times e}{nN\Phi}$$

ou

$$\omega = \frac{30 \times 10^8 (E - I r_s - i_a r_a)}{nN(A' i_a - \Lambda' I - K i_a)},$$

ce qui permet de voir que, quand on augmente la charge ou effort résistant de l'électromoteur, ce qui entraîne un accroissement de  $I$  et de  $i_a$ , le numérateur diminue.

Comme  $i_a = I - i_a$ , on voit que  $i_a$  diminue quand  $i_a$  et  $I$  augmentent, attendu que  $i_a$  augmente proportionnellement plus que  $I$ .

Donc, le dénominateur diminue comme le numérateur.

Les variations de  $\omega$  sont donc de même sens que les variations de la charge. On comprend ainsi qu'on puisse, en proportionnant convenablement les circuits, conserver une valeur sensiblement constante pour  $\omega$ .

On doit conclure de ce qui précède, que l'électromoteur compound est avantageux quand on a besoin d'un effort assez grand au démarrage tout en conservant une vitesse invariable aux différentes charges.

## CHAPITRE V

---

### CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DES ÉLECTROMOTEURS A COURANT CONTINU

Pour qu'un électromoteur puisse être commodément appliqué à la conduite des transmissions d'atelier, à une machine-outil, ou à d'autres engins, tels que monto-charges, cabestans, etc., il faut qu'il satisfasse au programme suivant :

1° Démarrage sous charge, facile et sans danger, tant pour celui qui manœuvre l'appareil, que pour l'appareil lui-même ;

2° Possibilité de maintenir une vitesse constante malgré les variations de la charge et de modifier la vitesse correspondante à une charge donnée ;

3° Possibilité de changer le sens de la rotation de l'électromoteur ;

4<sup>e</sup> Possibilité d'arrêter instantanément l'électromoteur à vide ou en charge.

Nous allons indiquer comment on peut satisfaire à ces diverses conditions pour les électromoteurs série et shunt ; ce qui sera dit pour eux s'appliquera aux électromoteurs compound qui procèdent de ces deux types.

**1. Démarrage.** — On a vu que l'intensité du courant passant dans l'induit était maximum au moment du démarrage, aussi bien dans l'électromoteur shunt que dans l'électromoteur série et que, pour ce dernier surtout, cette intensité pouvait atteindre une valeur dangereuse pour la conservation de l'appareil.

Donc, pour l'un et l'autre type d'électromoteur, il faut intercaler dans le circuit une résistance suffisante pour réduire le courant à une valeur qui ne soit pas dangereuse au moment de la mise en marche, et pouvoir retirer ensuite progressivement cette résistance qui constitue ce qu'on appelle un *rhéostat de démarrage*.

Dans le cas de l'électromoteur série, on place ce rhéostat sur l'un des conducteurs d'amenée ou de retour du courant de la source extérieure, en dehors des bornes de l'électromoteur ; le rhéostat de démarrage sert en même temps à régler la vitesse, ainsi qu'il sera expliqué plus loin.

Pour l'électromoteur shunt, le rhéostat de démarrage peut être intercalé, soit dans le circuit de l'induit, soit dans celui de l'inducteur : dans l'un et l'autre cas, ce rhéostat peut servir au réglage de la vitesse comme on le verra ci-après.

**2. Réglage de la vitesse.** — La vitesse d'un électromoteur série fonctionnant sous différence de potentiel constante à ses bornes, est essentiellement variable avec l'effort résistant et peut prendre une valeur dangereuse quand la charge devient très petite ou s'annule brusquement.

On corrige cette variation de vitesse à l'aide du rhéostat de démarrage dont il a été question plus haut.

On diminue la vitesse en augmentant la résistance du circuit à mesure que l'effort résistant diminue ; par une manœuvre analogue, on obtient pour un même moment résistant opposé à l'électromoteur, différentes valeurs de la vitesse.

La vitesse d'un électromoteur shunt bien construit et fonctionnant sous différence de potentiel constante à ses bornes, varie peu, même pour de grandes variations de la charge. Il existe cependant des électromoteurs shunt qui, malgré cette condition remplie de la constance de la

différence de potentiel aux bornes, subissent des variations de vitesse dues aux variations de la charge. On change le régime de la vitesse à l'aide du rhéostat de démarrage déjà cité.

Si ce rhéostat a été intercalé dans le circuit de l'induit :

En augmentant la résistance, on diminuera l'intensité du courant dans l'induit et on empêchera ainsi la vitesse de s'accroître quand la charge diminuera.

En augmentant la résistance, on diminuera la vitesse pour une charge maintenue constante.

En diminuant la résistance, on augmentera la vitesse pour une charge également constante.

Si, au contraire, le rhéostat de démarrage a été intercalé dans le circuit inducteur :

Toute diminution de résistance produira une diminution du moment moteur et empêchera l'accroissement de la vitesse due à une diminution de la charge.

Toute diminution de résistance produira également une diminution de vitesse, la charge de l'électromoteur restant constante.

Toute augmentation de résistance produira, au contraire, une augmentation de vitesse, la charge demeurant toujours constante.

Le courant d'excitation, dans un électromoteur

shunt, étant beaucoup moins intense que le courant dans l'induit, le rhéostat placé dans le circuit inducteur sera moins encombrant que le rhéostat placé dans le circuit induit et les étincelles au commutateur de manœuvre seront moins destructives.

Dans certains cas, on emploie deux rhéostats, l'un placé dans le circuit inducteur, l'autre placé dans le circuit induit.

**3. Inversion du sens de rotation.** — Pour l'électromoteur série, comme pour l'électromoteur shunt, on change le sens de rotation en inversant le sens du courant dans l'induit seulement ou dans l'inducteur seulement. D'où la nécessité d'un inverseur intercalé dans le circuit induit ou dans le circuit inducteur.

Si l'on a affaire à un électromoteur avec balais admettant un angle de calage, il faut modifier la position de ces balais en même temps qu'on change le sens de la rotation; sans quoi il y aurait rebroussement des balais et production d'étincelles fortes et nombreuses.

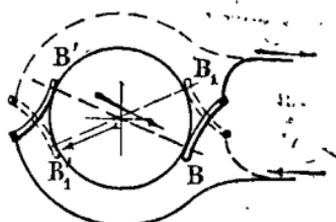
Il est alors commode de pouvoir confondre en une seule manœuvre l'inversion du courant dans l'induit et le changement de calage des balais.

On y arrive facilement en employant deux

paires de balais appuyant à tour de rôle sur le collecteur (fig. 8).

Ces balais B, B' et B<sub>1</sub>, B'<sub>1</sub> sont montés sur un levier convenablement disposé. Quand ce levier est dans une position telle que les balais BB' appuient sur le collecteur, le courant passe dans l'induit dans le sens indiqué par la flèche en trait plein : quand on in-

Fig. 8



verse le sens de marche, l'inverseur déplace le levier de façon à éloigner les balais B, B' et à mettre en contact avec le collecteur les balais B<sub>1</sub>, B'<sub>1</sub>, le courant traverse alors l'induit dans le sens indiqué par la flèche en trait interrompu, c'est-à-dire dans le sens contraire au précédent.

On peut éviter cette obligation de déplacer les balais en employant des électromoteurs à calage nul.

Dans ce cas, les balais sont remplacés par des blocs de charbon restant toujours dans le même plan de calage théorique, c'est-à-dire dans un plan normal à la ligne des pôles. L'emploi de balais en charbon a encore l'avantage de diminuer les étincelles au collecteur et l'usure de

cette pièce ; il est indispensable quand l'électromoteur doit être commandé à distance.

#### 4. Arrêt instantané d'un électromoteur.

— Pour arrêter un électromoteur, d'un type quelconque, il faut d'abord interrompre le courant, soit dans l'induit, soit dans les inducteurs, soit dans les deux à la fois. Mais, en général, l'inertie de l'induit et des pièces mobiles qu'il commande prolongera plus ou moins le mouvement du moteur après la rupture du courant.

Si on veut produire un arrêt instantané coïncidant exactement avec la rupture du courant, ce qui est, dans beaucoup de cas, d'une absolue nécessité, il faut :

1<sup>o</sup> Dans le cas de l'électromoteur série, faire usage d'un frein mécanique mis en fonction par le levier interrupteur du courant ou par un électro-aimant convenablement disposé.

2<sup>o</sup> Dans le cas de l'électromoteur shunt, rompre le courant dans l'induit, mais le laisser passer dans l'inducteur, puis mettre l'induit en court-circuit, enfin couper le courant dans l'inducteur.

En effet, en mettant l'induit en court-circuit tout en maintenant le courant d'excitation, si l'induit continue à tourner, grâce à son inertie, dans le champ magnétique constant créé par les

inducteurs, il s'y développe, en vertu de la loi de Lenz, des courants d'induction très énergiques qui s'opposent à son mouvement ; et, comme aucune force ne vient entretenir la rotation de l'induit, ce dernier s'arrête si rapidement que cet arrêt peut être considéré comme instantané à partir du moment de la mise en court-circuit.

Cette faculté de l'électromoteur shunt de pouvoir se freiner électriquement, constitue, dans beaucoup d'applications, un avantage précieux.

Mais comme pendant sa rotation en court-circuit, si peu de temps qu'elle dure, l'induit fonctionne comme celui d'une machine génératrice, le calage des balais (bon pour la réceptrice) n'est plus convenable.

Les électromoteurs susceptibles d'être mis ainsi en arrêt instantané par court-circuit, devront donc être munis de balais en charbon sans calage. Comme d'ailleurs le courant produit est, pendant un temps très court il est vrai, d'une grande intensité à cause du court-circuit, on aura, en général, une ou deux grosses étincelles aux balais et il faudra prendre des précautions spéciales pour éviter leur action nuisible.

**5. Arrêt à distance d'un électromoteur.**  
— Pour certaines applications, par exemple pour

les ascenseurs électriques, on a besoin de commander l'arrêt à distance.

Nous donnons à titre d'exemple :

1° Un dispositif de freinage automatique pour électromoteur série.

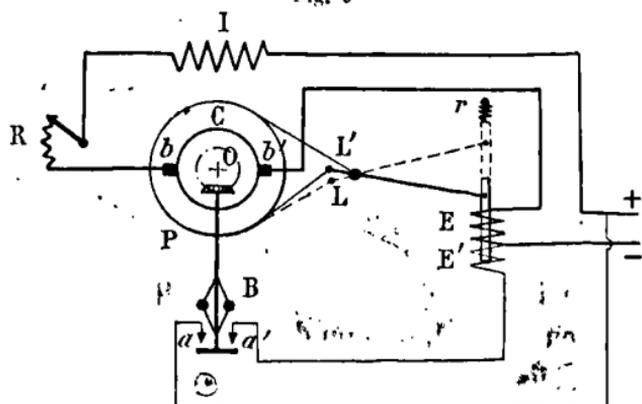
2° Un dispositif d'arrêt instantané pour électromoteur shunt ;

3° Un dispositif d'arrêt instantané à distance pour électromoteur shunt ;

4° Un dispositif d'arrêt instantané à distance pour électromoteur compound.

**6. Freinage automatique pour électromoteur série.** — L'électromoteur est supposé muni de balais en charbon  $b, b'$  (fig. 9). Le

Fig. 9



collecteur est représenté en C, l'inducteur en I et le rhéostat de démarrage, en R.

Sur l'arbre de l'induit,  $o$ , est montée la poulie de frein  $P$  ; la bande de frein est serrée par un levier  $L$  dont l'extrémité libre est comprise entre un ressort fixe  $r$  et le noyau d'un solénoïde  $E$  monté en série sur le circuit qui amène le courant de la source extérieure. Le frein est desserré dès que le courant est introduit dans le moteur, il se serre dès que le courant est interrompu. En effet, lorsqu'on fait passer le courant, le noyau du solénoïde est chassé de bas en haut, ce noyau comprime le ressort  $r$  et amène le levier dans la position  $L$  ; dès que le circuit a été coupé, le noyau du solénoïde retombe, le ressort  $r$  repousse le levier qui se place en  $L'$  et le frein est serré.

Pour rendre le serrage du frein automatiquement variable avec la vitesse de l'électromoteur, il suffit de monter sur le solénoïde un deuxième enroulement  $E'$  en dérivation sur le courant venant de la source et disposé de manière à agir en sens contraire de l'enroulement série  $E$ .

La rupture ou le rétablissement du courant dans cet enroulement en dérivation dépend de la vitesse prise par l'induit. Sur ce dernier, sont montées des roues dentées qui communiquent son mouvement à un arbre vertical muni d'un régulateur centrifuge  $B$ .

Tant que la vitesse ne dépasse pas une limite fixée à l'avance ce régulateur n'établit pas de relation entre les plots  $a$  et  $a'$  ; mais dès que cette vitesse est atteinte et dépassée, ces deux plots étant mis en contact, une dérivation du courant passe dans l'enroulement  $E'$ , qui, agissant en sens contraire de l'enroulement  $E$ , affaiblit le solénoïde : le noyau retombant un peu, un léger freinage se produit et il cesse dès que la vitesse est redevenue normale.

On possède ainsi un moyen assez simple de limiter automatiquement la vitesse du moteur ; il est utilisé dans certains types d'ascenseurs électriques.

**7. Arrêt instantané pour électromoteur shunt.** — Nous supposerons d'abord que l'excitation des inducteurs soit maintenue même pendant les périodes d'inactivité du moteur, ce qui correspond au cas d'un électromoteur conduisant un outil travaillant continuellement mais qui doit être arrêté brusquement puis remis en route presque immédiatement et cela un grand nombre de fois pendant la période du travail.

En C se trouve représenté le collecteur, avec ses deux balais en charbon  $b, b'$  (*fig. 10*).

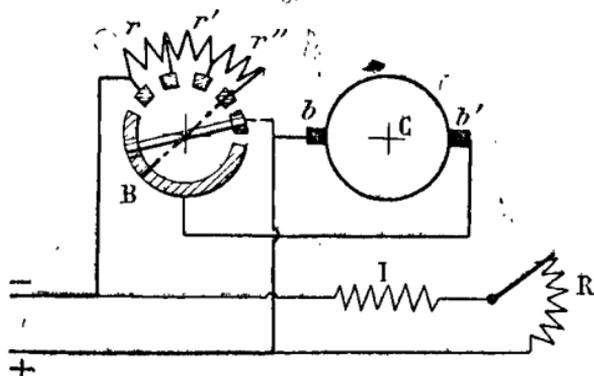
Le balai  $b$  est réuni d'une part au fil  $+$  de la

source, d'autre part avec le dernier plot d'un commutateur B. Le balai  $b'$  est relié avec le plot demi-circulaire de ce commutateur.

En I se trouve l'inducteur et en R son rhéostat d'excitation.

En  $r, r', r''$ , sont des résistances de démarrage que l'on peut intercaler en portant successive-

Fig. 10



ment la manette du commutateur B sur les plots correspondants.

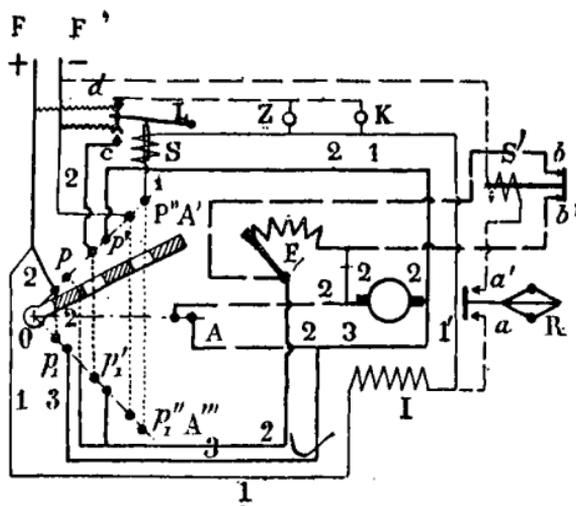
Pour le démarrage, on met la manette de B dans la position indiquée en pointillé, ce qui introduit les résistances  $r, r', r''$ , dans le circuit de l'induit ; on la fait ensuite tourner de droite à gauche pour supprimer ces résistances.

Quand on veut arrêter l'électromoteur, on ramène la manette de la gauche vers la droite pour introduire les résistances et diminuer la vitesse.

Quand cette manette occupe la position indiquée en trait plein, le courant de la source est interrompu dans l'induit et ce dernier se trouve mis en court-circuit.

**8. Arrêt instantané à distance pour électromoteur shunt.** — Dans bien des cas, le problème est plus complexe : il faut mettre en

Fig. 11



mouvement et arrêter instantanément à distance en coupant le courant d'excitation pendant les intervalles d'arrêt. C'est ainsi que se pose le problème pour les ascenseurs à moteurs électriques, par exemple.

Voici au moyen de quel dispositif on peut le résoudre, en ce qui concerne simplement la

marche du courant, car un détail important c'est la construction du commutateur qui doit être robuste et étudié de façon à ne pouvoir être détérioré par des manœuvres brusques.

Nous admettrons que, par un moyen mécanique quelconque, on puisse faire tourner la barre OA, autour du point O, de manière à l'amener dans l'une des trois positions OA', OA, OA''' (fig. 11). Dans la première de ces positions, elle établira par ses contacts métalliques, représentés en parties hachées, une relation entre les plots figurés en  $p, p', p''$ . Dans la deuxième position, elle établira un contact entre les plots  $p_2$ , dans sa troisième position enfin, elle mettra en relation les plots figurés en  $p_1, p'_1, p''_1$ .

L'induit est représenté par son collecteur; sur son axe est monté un régulateur à force centrifuge R qui, tant que la vitesse de rotation de cet induit est suffisante, maintient fermé le circuit en  $aa'$ .

L'inducteur est représenté en I.

Le rhéostat de démarrage E est intercalé dans le circuit de l'induit  $i$ .

S, est un solénoïde intercalé dans le circuit de l'inducteur I et qui a pour fonction d'attirer, quand le courant le traverse, un levier L portant à son extrémité un double contact  $cd$ .

$S'$ , est un autre solénoïde qui, lorsqu'il est traversé par le courant, assure la fermeture en  $bb'$  d'un circuit dérivé sur le rhéostat  $E$ .

$Z$  et  $K$ , sont des lampes à incandescence montées sur une dérivation prise entre le pôle positif de la source d'électricité et l'inducteur  $I$ .

$F$  et  $F'$ , sont les deux fils d'aménés du courant venant de la source extérieure.

Ceci posé, quand on a amené la barre de manœuvre  $OA$  dans la position  $OA'$ , et quand, par suite, on a relié métalliquement les plots situés en  $p, p', p''$ , on voit que le courant entrant par le fil  $F$ , arrive par le conducteur 1, dans l'inducteur  $I$ , puis dans le solénoïde  $S$  et revient au fil  $F'$  en passant par les plots en contact  $p''$ .

Le solénoïde  $S$  attire le levier  $L$ , ce qui ferme le circuit en  $c$ . Le courant venant du fil  $F$  peut alors suivre le fil 2 (le contact étant établi en  $p$ ), arriver au rhéostat  $E$ , puis à l'induit  $i$  et revenir enfin au fil  $F'$  par les plots  $p'$  et le contact  $c$  qui assurent la fermeture du circuit.

L'induit traversé par le courant de gauche à droite tourne dans ce sens.

Dès que l'électromoteur a pris une certaine vitesse, le régulateur centrifuge  $R$  ferme en  $aa'$  la dérivation dans laquelle est intercalé le solénoïde  $S'$ ; ce dernier ferme en  $bb'$  le circuit dérivé

sur le rhéostat E, ce qui shunte ce rhéostat et l'annule.

L'électromoteur est alors en pleine vitesse.

Si maintenant on amène la barre de manœuvre en OA'', on ouvre les circuits en  $p, p', p''$  et on établit un contact en  $p_2$ .

On voit que le courant venant du fil F ne peut plus passer que dans le fil 1 jusqu'à l'inducteur I. Au sortir de cet inducteur, il circule dans la dérivation contenant le régulateur R et le solénoïde S', attendu que la vitesse de l'électromoteur est suffisante pour fermer la dérivation en  $aa'$ , et il retourne ainsi au conducteur F'. Le solénoïde S' étant excité, le circuit dérivé qui shunte le rhéostat E est fermé en  $bb'$ . En même temps, l'induit  $i$  a été mis en court-circuit par suite du contact établi en  $p_2$ .

On a ainsi réalisé les conditions nécessaires pour l'arrêt instantané du moteur, savoir : suppression de la résistance d'induit, mise en court-circuit de ce dernier, maintien de l'excitation de l'inducteur.

L'électromoteur s'arrêtant brusquement, le régulateur R coupe le circuit en  $aa'$ , ce qui interrompt le courant d'excitation ainsi que celui qui shuntait le rhéostat E.

Enfin quand on fait passer la barre de ma-

manœuvre de la position OA à la position OA''', on établit les contacts en  $p_1, p'_1, p''_1$ .

Le courant partant du fil F parcourt le fil 1, en traversant l'inducteur I et le solénoïde S pour revenir au fil F' par l'interrupteur  $p''_1$ . L'inducteur est excité, le levier L est attiré. Le courant peut alors passer dans le fil 2 jusqu'aux plots  $p$ , puis dans le fil 3, en passant par les plots  $p_1$ , pour se rendre dans l'induit  $i$  qu'il traverse de droite à gauche, pour rejoindre, en passant par le rhéostat E, le fil 2 jusqu'au plot  $p'_1$ , et emprunter, à partir de ce point, le fil  $p'_1 p'$ , la portion du fil 2 comprise entre  $p'$  et  $c$  et retourner ainsi au fil F'. L'induit traversé par le courant dans le sens opposé à celui qui correspondait à la position OA' de la barre de manœuvre tourne donc en sens contraire de tout à l'heure. Quand l'électromoteur a pris une certaine vitesse, le régulateur R entre en action, comme il a été expliqué plus haut, le solénoïde S' est excité et la résistance E shuntée, c'est-à-dire annulée.

En ramenant la barre de manœuvre de sa position OA''' à sa position OA, on produirait l'arrêt instantané comme il a été expliqué précédemment.

Le circuit dérivé K, établi entre le circuit inducteur et le fil d'entrée F du courant contient

deux lampes à incandescence Z et K ; il est fermé par le contact  $d$  quand le levier L cesse d'être attiré par le solénoïde S et est destiné à absorber l'extra-courant de rupture du circuit de l'inducteur de façon à empêcher la détérioration du contact  $aa'$  par les étincelles.

**9. Arrêt instantané à distance d'un électromoteur compound.** — Les dispositions que nous venons de décrire pour l'arrêt instantané à distance d'un électromoteur shunt sont applicables à l'arrêt instantané d'un électromoteur compound ; le schéma ne diffère, dans ce dernier cas, que par l'intercalation, dans le circuit de l'induit, de l'excitation série.

---

## CHAPITRE VI

---

### ÉLECTROMOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS

**1. Classification des électromoteurs à courants alternatifs.** — Les électromoteurs à courants alternatifs se divisent en deux grandes classes :

Les électromoteurs à courants alternatifs monophasés ;

Les électromoteurs à courants alternatifs polyphasés.

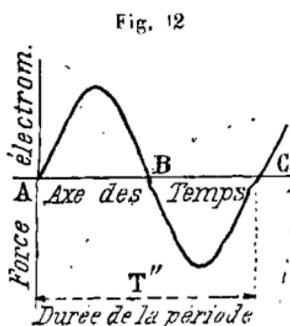
Les uns et les autres sont *synchrones* ou *asynchrones*, suivant que les courants développés dans l'électromoteur sont ou non en concordance de phases avec les courants qui leur parviennent de la source d'électricité qui les alimente.

Avant d'examiner ces différentes sortes d'élec-

tromoteurs et d'expliquer leur mode de fonctionnement nous croyons utile de donner la définition du courant alternatif et de rappeler ses principales propriétés.

**2. Définitions relatives aux courants alternatifs.** — On désigne sous le nom de *courant alternatif*, celui dont l'intensité et la force électromotrice changent périodiquement de sens.

Ce courant est fourni par les *alternateurs* qui diffèrent des *dynamos à courant continu* par l'absence des organes servant à recueillir et à lancer dans la ligne les



portions de courants périodiques de même sens.

Les courants alternatifs industriels sont caractérisés par la *variation sinusoïdale* de leur force électromotrice et de leur intensité.

*Force électromotrice.* — Si on porte en abscisses le temps (en secondes) et en ordonnées la force électromotrice variable, la variation de la force électromotrice sera représentée graphiquement par une sinusoïde telle que ABC (fig. 12).

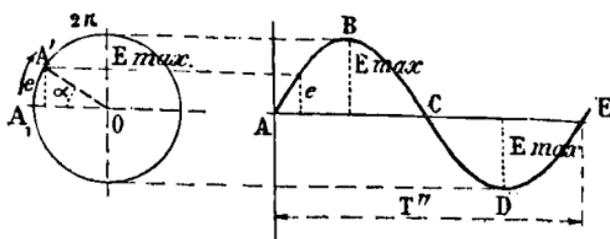
La variation sera définie par la durée T secondes de la *période* ABC ou par la *fréquence*,

c'est-à-dire par le nombre de périodes par seconde.

Dans le cas actuel, la fréquence est  $\frac{1}{T}$ .

Si nous considérons la sinusoïde ABCDE (fig. 13) qui représente graphiquement la varia-

Fig. 13



tion de la force électromotrice pendant la période de temps  $T$ , et si nous traçons le cercle  $O$ , ayant pour rayon la valeur maxima  $E_{\max}$  de cette force électromotrice, nous voyons que la valeur  $e$  de la force électromotrice, à un instant quelconque, sera :

$$e = E_{\max} \sin \alpha.$$

L'angle  $\alpha$  augmente depuis zéro jusqu'à  $2\pi$ , au bout du temps  $T$  de la période.

La valeur de l'angle  $\alpha$  se déduit de la formule qui donne la vitesse angulaire  $\omega$  et du temps  $t$  mis à décrire cet angle. On a :

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

d'où

$$\alpha = \omega t.$$

D'autre part, la vitesse angulaire  $\omega$ , exprimée en radians par seconde, est égale, dans le cas qui nous occupe, au quotient du chemin parcouru par le point  $A_1$  pendant le temps  $T$  de la période (c'est-à-dire  $2\pi$ ) par le temps employé (c'est-à-dire  $T$ ) :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Donc :

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot t.$$

On a donc :

$$e = E_{\max} \cdot \sin \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot t. = E_{\max} \sin \cdot \omega t.$$

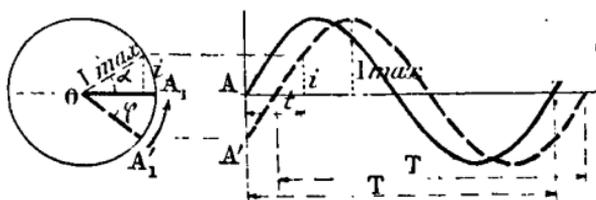
$\frac{2\pi}{T}$  est ce qu'on appelle la *vitesse de pulsation* du courant.

*Intensité.* — L'intensité suit une loi analogue mais non identique à celle de la force électromotrice. En effet, les phénomènes d'induction et en particulier de self-induction ont pour effet de mettre *en retard* l'intensité sur la force électromotrice, comme on le verra plus loin.

L'intensité sera donc représentée graphiquement par une sinusoïde de même durée de période,  $T$ , que la force électromotrice (*fig. 14*),

mais ces deux périodes ne coïncideront pas comme origine ni comme fin. C'est ce qu'on exprime en disant qu'il y a un *décalage* ou une

Fig. 14



*différence de phase* entre la force électromotrice et l'intensité.

Si on représente graphiquement la sinusoïde correspondante aux intensités (*fig. 14*), son origine se trouvera placée en dessous de l'axe des  $x$ , en  $A'$  au lieu d'être en  $A$ , comme dans le cas de la force électromotrice, puisqu'il y a décalage, et sa position sera donnée par la valeur de l'angle de décalage  $\varphi$ .

Traçons à gauche de l'axe des  $y$ , le cercle ayant pour rayon la longueur représentant la valeur de l'intensité maxima  $I_{\max}$  et considérons la valeur de l'intensité  $i$  après un temps quelconque  $t$ .

On aura :

$$i = I_{\max} \sin \alpha.$$

ou

$$i = I_{\max} \sin (\alpha + \varphi - \varphi)$$

Or,  $\alpha + \varphi$  est l'angle de déplacement qui correspond à la période  $t$ , et si, comme dans le cas de la force électromotrice, on appelle  $\omega$  la vitesse angulaire, on aura :

$$\omega = \frac{\alpha + \varphi}{t}$$

$$\alpha + \varphi = \omega t$$

et 
$$i = I_{\max} \sin.(\omega t - \varphi).$$

$\varphi$  étant un angle peut être exprimé en fonction de la vitesse angulaire et du temps  $\theta$  qui est alors le retard de la phase de l'intensité sur celle de la force électromotrice.

On a :

$$i = I_{\max} . \sin \omega (t - \theta).$$

*Courants polyphasés.* — Si, au lieu de lancer dans une ligne un seul courant alternatif, on la met en relation avec plusieurs alternateurs produisant chacun un courant alternatif de même période que les autres, mais qui présente une différence de phase avec ces autres courants, on obtiendra un *courant résultant polyphasé*.

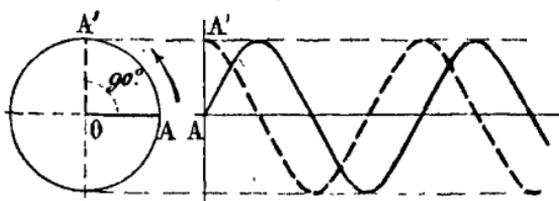
On peut produire un courant polyphasé avec un seul alternateur en décalant la période du courant à l'aide de certains artifices.

Dans le cas de deux courants simultanés dé-

calés de  $90^\circ$  ou d'un quart de période on a un courant *diphassé*. Si on lance dans la ligne simultanément trois courants alternatifs décalés de  $120^\circ$  ou d'un tiers de période, on a un courant résultant dit *triphassé*.

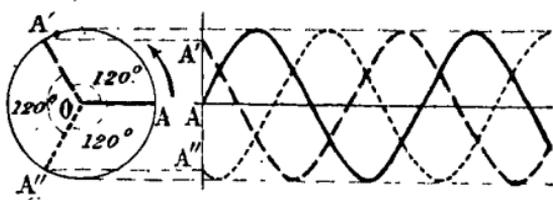
Les *fig. 15* et *16* donnent la représentation

Fig. 15



graphique des variations de la force électromotrice de ces deux sortes de courants. Le tracé a

Fig. 16



été obtenu en suivant la marche indiquée plus haut.

*Lois applicables aux courants alternatifs.* —

Dans les calculs relatifs aux électromoteurs, on est conduit à appliquer les lois d'Ohm, des courants dérivés et de Joule, ainsi qu'on l'a vu à l'occasion des électromoteurs à courant continu.

Quand on a affaire à un courant continu d'intensité  $I$  circulant dans un conducteur de résistance  $R$  sous une différence de potentiel  $E$  ( $I$ ;  $R$  et  $E$  étant exprimés en ampères, ohms et volts), l'application des lois en question n'offre pas de difficultés.

On écrit, en effet, pour la loi d'ohm :

$$E = RI.$$

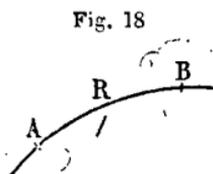
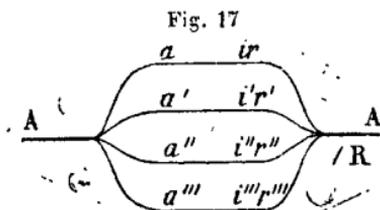
La loi des courants dérivés donne lieu aux expressions suivantes, en appelant  $I$ , l'intensité dans le conducteur principal  $A$ ;  $R$ , sa résistance;  $i, i', i'' \dots$ , les intensités circulant dans les conducteurs dérivés  $a, a', a'' \dots$  et  $r, r', r'' \dots$ , les résistances de ces conducteurs (fig. 17).

$$(1) \quad \Sigma i = I$$

$$(2) \quad \frac{i}{i'} = \frac{r'}{r}; \quad \frac{i}{i''} = \frac{r''}{r}; \dots$$

$$(3) \quad \frac{1}{R} = \Sigma \frac{1}{r}.$$

Enfin, la loi de Joule exprime que la puissance



qui apparaît entre deux points A et B d'un cir-

cuit sous forme de chaleur (*fig. 18*) est égale au produit de la résistance  $R$  entre ces deux points et du carré de l'intensité  $I$  qui y passe.

$$EI = RI^2$$

et comme :

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

on a :

$$EI = \frac{E^2}{R}.$$

Mais, dans le cas des courants alternatifs, l'application de ces lois offre plus de difficulté attendu que par définition même, l'intensité et la force électromotrice varient à chaque instant. Il en résulte la production d'effets parasites, dits effets d'induction donnant naissance, en particulier dans le circuit, à une force contre-électromotrice dont il faut tenir compte.

De même dans les calculs, ce n'est plus la résistance ohmique du conducteur  $R$  qui est à considérer, mais une fonction de cette résistance d'une valeur supérieure qui a reçu le nom de *résistance apparente* ou *impédance*.

Il est donc nécessaire de définir les valeurs à considérer pour l'intensité, la force électromotrice et la résistance dans le cas de l'application des lois précitées aux courants alternatifs.

*Intensité, force électromotrice et résistance dans le cas des courants alternatifs.* — On a établi plus haut que, dans un courant alternatif dont la période ou temps périodique est T secondes, la fréquence (nombre de périodes par seconde) est  $\frac{1}{T}$  et la vitesse de pulsation, mesurée en radians par secondes, est  $\frac{2\pi}{T} = \omega$ , l'expression de la force électromotrice à l'instant t est :

$$e = E_{\max} \sin \omega t \text{ (en volts),}$$

$E_{\max}$  étant produite à l'instant  $\frac{T}{4}$ .

Dans le courant alternatif, le flux variant constamment, il se produit un phénomène d'induction.

Si on désigne sous le nom de coefficient de self-induction le rapport du flux d'induction  $\Phi$  qui traverse un circuit, au courant  $i$  qui le produit, on a, à un instant quelconque t :

$$L_s = \frac{\Phi}{i}$$

$$\text{et } \Phi = L_s i.$$

Or, par définition, la force électromotrice induite est égale à la dérivée de la valeur du flux prise en fonction du temps :  $\frac{d\Phi}{dt}$ ; lorsque le flux,

diminue le courant induit a lieu dans le sens positif, quand le flux augmente, le courant induit a lieu dans le sens négatif.

Par conséquent, la force contre-électromotrice de self-induction, sera, en tenant compte du signe :

$$- \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{dL_s i}{dt}.$$

Si  $L_s$  est constant, la force contre-électromotrice d'induction sera :

$$- L_s \frac{di}{dt}.$$

$e$  étant la force électromotrice produite par le générateur,  $R$  la résistance du circuit, où se trouve une force contre-électromotrice, on aura en appliquant la loi d'Ohm :

$$(1) \quad i = \frac{e - L_s \frac{di}{dt}}{R}.$$

Mais :

$$(2) \quad e = E_{\max} \cdot \sin \cdot \omega t.$$

Intégrant l'expression (1), on démontre que quand le régime est établi, l'intensité du courant  $i$  est donnée par l'expression :

$$i = \left( \frac{E_{\max}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2}} \right) \sin \cdot (\omega t - \varphi)$$

$\varphi$  étant donnée par l'équation :

$$\varphi = \text{arc tg. } \frac{\omega L_s}{R}.$$

L'intensité est donc en retard sur la force électromotrice et  $\varphi$  est l'angle de décalage, ainsi qu'on l'a exp'iqué plus haut.

L'intensité maxima  $I_{\max}$  correspondant à l'instant  $\frac{T}{4} + \frac{\varphi T}{2\pi}$  est donnée par la formule :

$$I_{\max} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2}}.$$

La quantité  $\omega L_s$  s'appelle *réactance* (de self-induction) et s'exprime en ohms.

La quantité  $\sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2}$  s'appelle *résistance apparente* ou *impédance*.

En résumé :

Dans un courant alternatif dont à l'instant  $t$  :

L'intensité (en ampères) est  $i$  ;

La force électromotrice (en volts) est  $e$  ;

La résistance (en ohms) est  $R$  ;

La self-induction ou coefficient de self-induction (en henrys) est  $L_s$  ;

La période du courant alternatif étant  $T$  secondes ;

La fréquence  $\frac{1}{T}$  secondes ;

La vitesse de pulsation  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  radians par seconde ;

On a :

*Angle de décalage de l'intensité sur la force électromotrice*

$$\varphi = \text{arc tg } \omega \frac{L_s}{R} \text{ radians.}$$

*Retard de phase*

$$\frac{\varphi}{\omega} \text{ secondes.}$$

*Force électromotrice maxima à l'instant  $\frac{T}{4}$*

$$E_{\max} \text{ volts.}$$

*Résistance apparente ou impédance*

$$R_{\text{app}} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2} \text{ ohms.}$$

*Intensité maxima à l'instant :  $\frac{T}{4} + \frac{\varphi T}{2\pi}$*

$$I_{\max} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2}} \text{ ampères.}$$

*Force électromotrice à l'instant  $t$*

$$e = E_{\max} \sin . \omega t \text{ volts.}$$

*Intensité à l'instant  $t$*

$$i = \frac{E_{\max}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2}} \sin . (\omega t + \varphi) \text{ ampères.}$$

*Force électromotrice et intensité moyennes et efficaces. — On a besoin également d'introduire dans les calculs :*

$$\left. \begin{array}{l} \text{La force électromotrice} \\ \text{L'intensité} \end{array} \right\} \text{ moyennes.}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{La force électromotrice} \\ \text{L'intensité} \end{array} \right\} \text{ efficaces.}$$

Ces deux dernières quantités étant définies :

La racine carrée de la moyenne des carrés de la force électromotrice et la racine carrée de la moyenne des carrés de l'intensité.

La valeur de la force électromotrice moyenne et celle de l'intensité moyenne se déduisent par le calcul des formules (1) et (2).

On a :

*Force électromotrice moyenne*

$$E_{\text{moy}} = \frac{2}{\pi} E_{\text{max}} \text{ volts.}$$

*Intensité moyenne*

$$I_{\text{moy}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{max}} \text{ ampères}$$

*Force électromotrice efficace*

$$E_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{\text{max}} \text{ volts.}$$

*Intensité efficace*

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{max}} = \frac{E_{\text{eff}}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_s^2}} \text{ ampères.}$$

*Puissance moyenne d'un courant alternatif.*

— De là on tire la valeur de la puissance moyenne du courant :

$$P_{\text{moy}} = E_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos \varphi = \frac{1}{2} E_{\text{max}} I_{\text{max}} \cos \varphi \text{ watts.}$$

*Lois des courants alternatifs.* — Des considérations qui précèdent il résulte que, dans le cas des courants alternatifs :

1° Pour écrire la loi d'Ohm, il faut tenir

compte de la force électromotrice d'induction. C'est ce que nous avons fait plus haut quand, pour calculer, en appliquant la loi d'Ohm, la valeur de l'intensité passant dans un circuit de résistance  $R$ , en relation avec un alternateur produisant un courant de force électromotrice  $e$ , nous avons retranché de  $e$  la force contre-électromotrice d'induction  $L_s \frac{di}{dt}$  (voir formule 1).

2° La loi des courants dérivés n'est pas applicable.

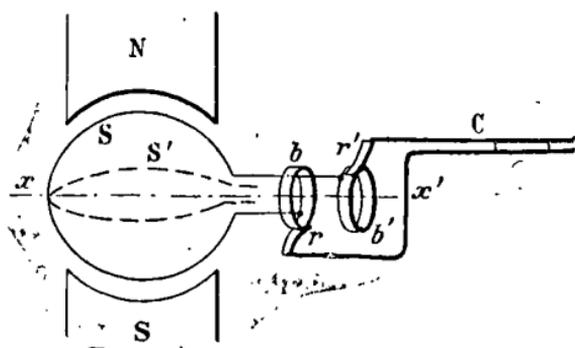
3° La loi de Joule est applicable dans les mêmes conditions que pour le courant continu parce que, dans la formule qui la traduit, la valeur de l'intensité entre au carré et par suite l'influence du changement de signe disparaît.

Ces explications justifient la nécessité de faire entrer dans les calculs relatifs aux courants périodiques, la force électromotrice et l'intensité efficaces.

**3. Principe du fonctionnement d'un électromoteur à courants alternatifs.** — Quand on fait tourner une spire de fil  $S$  autour d'un de ses diamètres  $xx'$  dans un champ magnétique  $NS$  (*fig.* 19), cette spire est le siège d'une force électromotrice d'induction variable qui change deux fois de sens par révolution, au moment où le plan de la spire est normal à la

ligne NS des pôles du champ, en  $S'$ . On donne ainsi naissance à un courant alternatif que l'on peut utiliser dans un circuit extérieur C à la spire en ouvrant cette dernière et en attachant ses deux bouts libres à deux bagues métalliques isolées  $b, b'$ , dont les axes se confondent avec l'axe

Fig. 19



de rotation de la spire, et en faisant appuyer sur les bagues deux ressorts  $r, r'$ , reliés aux deux extrémités du circuit extérieur.

Tel est le principe des machines génératrices de courants alternatifs ou *alternateurs*, c'est-à-dire engendrant des courants caractérisés, ainsi qu'on l'a vu plus haut, par la forme sinusoïdale de leur force électromotrice et de leur intensité.

Les alternateurs, comme les dynamos à courant continu, sont *réversibles* ; si on relie les ressorts  $r$  et  $r'$  à une source de courants alter-

natifs, ces courants circulant dans la spire mobile S qui représente ici l'induit, ce dernier prendra un mouvement de rotation et on aura ainsi constitué un *électromoteur à courants alternatifs*.

La machine fonctionnant comme électromoteur développe un couple qui *varie périodiquement*, ce qui détermine une *succession de points morts*, pendant une révolution complète de l'induit.

On comprend, d'après cela, pourquoi des électromoteurs constitués comme nous venons de l'expliquer, doivent être mis en marche *à vide*, et pourquoi, lorsque les appareils sont d'une certaine puissance, il est nécessaire de leur communiquer un mouvement initial, comme on le fait pour certains moteurs à gaz.

## CHAPITRE VII

—

### TYPES D'ÉLECTROMOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS

Nous avons dit que les moteurs à courants alternatifs actuellement employés dans l'industrie pouvaient se diviser en deux grandes catégories : les moteurs à courants monophasés, et les moteurs à courants polyphasés; et que chacun de ces types de moteurs pouvait être synchrone ou asynchrone.

L'électromoteur synchrone est caractérisé par cette condition que la mise en marche et la continuation du mouvement ne peuvent être obtenues qu'autant que la force électromotrice développée dans l'induit, ait mêmes phases que celle engendrée par l'alternateur constituant la source d'électricité.

## CHAPITRE VIII

---

### ÉTUDE DES ÉLECTROMOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS MONOPHASÉS

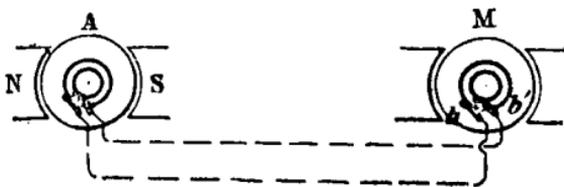
**1. Électromoteurs monophasés synchrones.** — Considérons le cas le plus simple, celui d'un moteur M à champ constant N.S, et à induit avec collecteur à bagues  $b, b'$ , relié à un alternateur A de même type, qui lui envoie son courant (*fig. 20*).

Le courant arrivant dans l'induit de l'électromoteur M va y développer des pôles qui tendent à entraîner cette partie mobile en lui faisant produire une force électromotrice en opposition avec celle engendrée par l'alternateur A.

Si l'induit de M était à l'un de ses points morts, en particulier si les pôles induits étaient en regard des pôles inducteurs, au moment où on lance le courant de A dans l'électromoteur, ce dernier ne pourrait pas démarrer.

Si le démarrage se fait, il conviendra que les frottements et l'inertie de l'induit de l'électromoteur ne soient pas trop grands pour empêcher

Fig. 20



cette partie mobile de prendre la même vitesse angulaire que l'induit de l'alternateur.

Au moment où le courant de l'alternateur pénètre dans l'induit de l'électromoteur, ce dernier n'est le siège d'aucune force contre-électromotrice, puisqu'il ne tourne pas ; et comme le couple moteur du démarrage est proportionnel au produit du flux dans l'induit et du courant qui le traverse, il s'ensuit que l'on pourra obtenir un effort assez énergique pour la mise en marche.

Si on se rappelle que, dans un courant alternatif, l'intensité suit une loi analogue, mais non identique à celle de la force électromotrice, on en conclura que l'écart existant entre la phase de la force électromotrice et celle de l'intensité fournis par l'alternateur A, produira un décalage entre les positions simultanées de l'in-

duit de A et de l'induit de M, attendu que la position de ce dernier dépend des phases du courant qui détermine le couple moteur.

La puissance que le moteur peut développer est en rapport avec la puissance électrique qu'il absorbe.

Cette puissance est :

$$E_{eff} \times I_{eff} \cos \varphi$$

$\varphi$  étant l'angle de décalage entre la force électromotrice et l'intensité.

Ceci montre qu'on a intérêt à réduire cet angle et par suite la constante de temps du moteur.

Lorsque l'induit est en marche et tourne synchroniquement avec celui de l'alternateur, on peut appliquer à l'électromoteur la charge normale, mais une surcharge momentanée amènera un brusque ralentissement de vitesse, par suite, une diminution de force contre-électromotrice, un accroissement d'intensité et de l'effort moteur.

Quand le couple résistant dépassera une certaine limite, l'électromoteur tombera hors de phase et, par suite, s'arrêtera, les réactions entre l'induit et le champ ne favorisant plus le mouvement.

Enfin quand l'électromoteur fonctionnera à vide, il n'absorbera que la puissance nécessaire pour vaincre ses résistances passives, et si, pour une raison quelconque, cet électromoteur vient à être soumis à un effort tendant à accélérer son mouvement, il fonctionnera comme alternateur-générateur ; et, s'il est monté en dérivation sur le réseau de distribution, il tendra à accroître le courant dans ce réseau.

Les électromoteurs à courants alternatifs monophasés et synchrones sont donc auto-régulateurs de vitesse.

Si on résume ce qui précède, on voit que les inconvénients inhérents aux électromoteurs synchrones monophasés à champ constant sont les suivants :

Complication résultant de la création et de l'entretien du champ constant par l'emploi d'une dynamo à courant continu, d'accumulateurs ou d'une combinaison de ces deux sources d'électricité, ou encore par l'emploi d'un redresseur de courant.

Nécessité de mettre l'électromoteur en marche à vide, à la main ou autrement (comme pour les moteurs à gaz), afin de l'amener à l'allure correspondante au synchronisme de ses phases avec celles du courant agissant.

(Seuls les petits électromoteurs, à masses mobiles légères, peuvent démarrer automatiquement quand ils sont en dehors des points morts).

Le couple résistant ne pouvant dépasser certaines limites, il est nécessaire d'appliquer la charge avec prudence, un ralentissement de l'électromoteur pouvant occasionner sa mise hors de phases et par suite son arrêt.

- De plus, comme au moment de l'arrêt, la force contre-électromotrice s'annule, l'intensité peut atteindre une valeur dangereuse pour la conservation de l'appareil ; de là, la nécessité de pourvoir ce dernier d'un appareil de débrayage automatique agissant dans le cas où la surcharge dépasse une limite donnée et permettant ainsi à l'électromoteur de continuer à tourner à vide synchroniquement.

Le rendement de l'électromoteur synchrone est inférieur, toutes choses égales d'ailleurs, à celui d'un moteur synchrone.

Ces inconvénients sont assez graves pour empêcher l'utilisation de ce genre d'électromoteurs alternatifs pour la distribution de la force dans les ateliers et dans les usines.

Sur les secteurs d'éclairage par courants alternatifs monophasés, ces électromoteurs ne peu-

vent non plus trouver leur emploi, bien qu'ils n'apportent pas de perturbations dans la lumière des lampes branchées en dérivation avec eux sur la canalisation, car si on leur demande d'entraîner leur excitatrice, ils ne démarrent qu'à la condition de prendre un courant exagéré. De plus, la nécessité d'avoir recours à cette excitatrice interdit l'emploi d'électromoteurs de puissance inférieure à quinze chevaux, alors que les abonnés des secteurs ont rarement besoin de plus de quinze chevaux.

Bien que l'étude des procédés imaginés pour la création du champ inducteur soit intéressante au point de vue théorique, nous ne croyons pas utile de faire connaître des solutions qui, malgré leur ingéniosité, ne sont pas encore entrées dans le domaine de la pratique.

**2. Électromoteurs monophasés asynchrones.** — On peut éviter d'avoir recours à l'emploi d'une source spéciale d'électricité pour la création et le maintien du champ inducteur d'un électromoteur à courant alternatif monophasé en lançant le courant alternatif de la source d'électricité à la fois dans l'inducteur et dans l'induit, à condition de monter l'inducteur en série avec l'induit.

Un électromoteur à courant continu à exci-

tation série, peut, en effet, fonctionner avec un courant alternatif, puisque ces sortes d'électromoteurs possèdent la propriété de continuer à tourner si l'on change le sens du courant à la fois dans l'inducteur et dans l'induit.

Mais ces inversions de courant font naitre dans le fer des inducteurs des courants de Foucault très intenses (que l'on peut diminuer, il est vrai, en employant des inducteurs feuilletés), et il se produit également de grandes pertes dues à l'hystérésis. Enfin le coefficient de self-induction est très élevé.

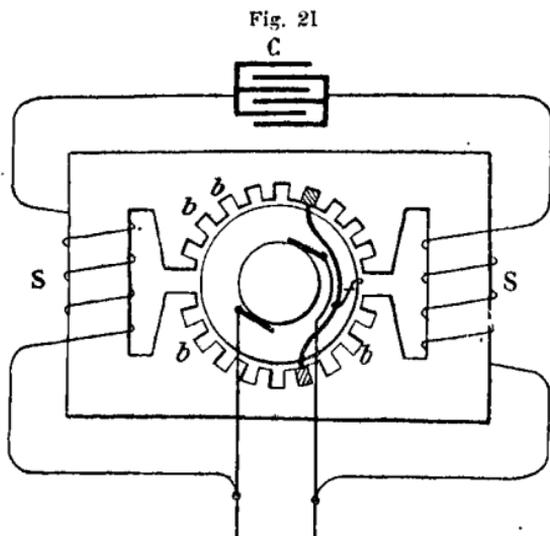
Pour ces diverses raisons, l'intensité efficace est très faible et la puissance de l'électromoteur est diminuée dans de grandes proportions.

On a imaginé un certain nombre de dispositions ingénieuses pour remédier aux défauts que nous venons de signaler.

Nous allons examiner les plus intéressantes.

**3. Électromoteur Stanley et Kelly.** — Cet électromoteur est à excitation shunt du type employé pour le courant continu, mais modifié de façon à remédier aux inconvénients qui se produisent quand on lance dans un électromoteur shunt à inducteurs feuilletés un courant alternatif. Le principal de ces inconvénients c'est la production d'une différence de phase

entre le courant inducteur et le courant induit qui aurait pour résultat de nuire aux réactions



de ces courants en produisant un affaiblissement du couple moteur.

Les inventeurs ont pris les dispositions suivantes :

1° Réduction des  $\frac{9}{10}$  du nombre des spires inductrices S que l'on emploierait pour un électromoteur à courant continu (*fig. 21*).

2° Intercalation en série avec les inducteurs d'un condensateur C afin de créer une self-induction négative diminuant l'impédance ou résistance apparente de ces inducteurs.

3° Encastrement dans les pièces polaires de conducteurs  $b$  parallèles aux spires induites avec liaison des pôles opposés avec des fils de laiton  $f$  dans le but de constituer des circuits fermés, afin de combattre la self-induction de l'induit. Ces circuits fermés, dont les plans doivent être parallèles aux lignes de force produites par les pôles (afin d'éviter des courants induits) jouent, en effet, par rapport à l'induit de l'électromoteur, le rôle du circuit secondaire dans un transformateur par rapport au circuit primaire (On sait que, dans un transformateur, le secondaire réduit la self-induction du primaire).

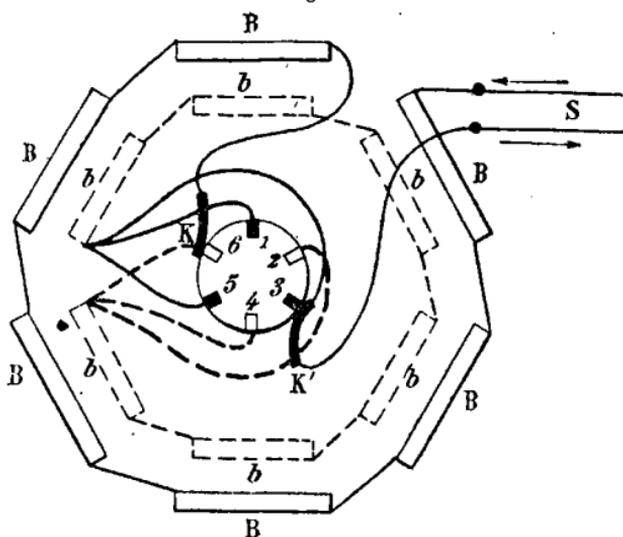
4. **Électromoteur Elihu Thomson.** — C'est un électromoteur à inducteur feuilleté en série avec l'induit lors de la mise en marche ; puis l'induit est fermé en court-circuit quand le démarrage est effectué.

La disposition est la suivante :

L'inducteur est formé de six bobines fixes  $B, B, \dots$  à noyau plat feuilleté dont l'ensemble constitue un prisme hexagonal à arêtes parallèles à l'axe (*fig. 22*) ; ces bobines reliées en série reçoivent le courant de la source  $S$  ; ce courant, après avoir parcouru le circuit ainsi constitué par les bobines, se rend au balai  $K$  frottant sur le commutateur de l'induit.

L'induit est formé, comme l'inducteur, de six bobines mobiles à l'intérieur de celles de l'inducteur, et les deux extrémités du fil enroulé sur ces bobines sont reliées, l'une *a* aux touches paires du commutateur, l'autre *a'* aux touches

Fig. 22



impaires ; le balai *K'* est en communication avec la source *S*.

Quand les balais *K*, *K'*, frottent sur le commutateur, le courant parcourt donc d'abord le circuit de l'inducteur, puis celui de l'induit ; le sens des connexions est renversé six fois par tour dans le circuit mobile.

La machine ayant reçu une première impul-

sion, continuera à tourner quand le courant alternatif y sera lancé et son mouvement s'accélénera. Une disposition mécanique assure la fermeture de l'induit dès que le moteur a atteint sa vitesse de régime. L'induit est alors retiré du circuit et ses balais sont directement reliés. La machine continue à tourner sous l'influence des réactions qui s'exercent entre le flux périodique dû aux inducteurs et les courants induits qu'il fait naître dans l'armature.

Le système constitue une sorte de transformateur dont le circuit induit est mobile et obéit aux efforts pulsatoires dus à l'action du courant inducteur.

Quand on charge l'électromoteur sa vitesse diminue.

**5. Électromoteur Brown.** — M. Brown a construit, dès l'année 1891, des électromoteurs asynchrones à champ alternatif monophasé composés d'un inducteur en anneau à tôles feuilletées avec enroulement Gramme ou en tambour, bipolaire ou multipolaire, et d'un induit fermé, en cage d'écureuil ou enroulé en tambour, et subdivisé de façon à donner autant de pôles qu'en possède l'inducteur.

Cet induit, généralement placé à l'intérieur de l'inducteur, peut avoir les deux extrémités de

son enroulement reliées, par deux bagues placées sur l'arbre, à un circuit extérieur contenant des résistances variables, ce qui permet de modifier la vitesse.

Mais ces électromoteurs présentent le même inconvénient que les précédents : il faut donner à l'induit une impulsion lors de la mise en marche, pour lui faire atteindre la vitesse correspondant au couple résistant.

Aussi a-t-on été conduit à adjoindre à l'enroulement de l'inducteur un deuxième enroulement (appelé *circuit de démarrage*) présentant une grande self-induction ou une self-induction nulle, et à coupler ces deux enroulements en dérivation au moment du démarrage. On produit ainsi un décalage entre les intensités qui les traversent et on obtient, au centre, un *champ tournant*, ainsi qu'on le verra plus loin à l'occasion des moteurs à courants polyphasés. Ce champ tournant inducteur fait naître dans l'induit fermé un autre champ tournant qui est entraîné par le premier. Ce moteur démarre donc à vide ou en charge et on supprime alors le circuit de démarrage.

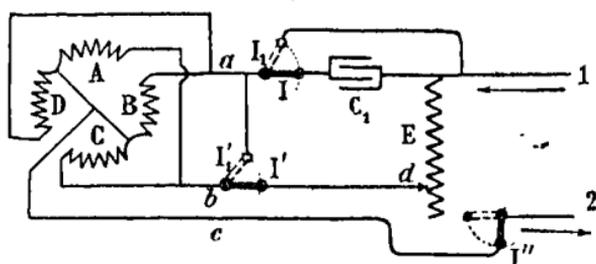
Au lieu de placer dans le circuit de démarrage une self-induction qui a pour inconvénient de nécessiter une bobine de grandes dimensions,

on peut utiliser les propriétés inverses de la self-induction et de la capacité, c'est-à-dire placer dans l'un des enroulements inducteurs une bobine de self-induction et dans l'autre une capacité.

C'est la disposition qui a été adoptée par la Société Brown pour des installations récentes et dont le schéma (fig. 23) indique le principe.

Soit un électromoteur à quatre bobines inductrices représentées en A, B, C, D, reliées par

Fig. 23



l'intermédiaire des conducteurs  $a, b, c$  aux fils de ligne 1 et 2.

E est une bobine de self-induction avec une prise  $d$ ; en C est une capacité. En I, I' et I'' sont trois interrupteurs.

Au moment du démarrage, on place ces interrupteurs dans la position indiquée en trait plein. Une partie du courant venant de la source par le fil 1 parcourt la capacité C, l'interrupteur

teur I, le conducteur  $a$ , les deux bobines D et B reliées en quantité et revient par le conducteur  $c$  au fil 2 ; une autre partie du courant venant de la source par le fil 1 traverse la bobine de self-induction E, entre par  $d$  dans le conducteur  $b$  traverse l'interrupteur I' et parcourt les bobines A et C reliées en quantité pour retourner par le conducteur  $c$  au fil 2.

On a ainsi constitué le champ tournant au moyen de deux circuits comprenant chacun deux bobines en quantité D, B et A, C.

Le démarrage s'effectue. On met ensuite les deux interrupteurs I et I' dans la position indiquée en traits interrompus ; on supprime ainsi la capacité et la bobine de self-induction et on ferme directement le circuit de l'inducteur sur les deux fils 1 et 2 de la canalisation.

A ce moment, les quatre bobines A, B, C, D, sont couplées par deux en quantité et le moteur fonctionne en monophasé.

On peut donc, par ce moyen, faire démarrer les électromoteurs asynchrones monophasés à vide et sous charge, mais ces électromoteurs ont un facteur de puissance plus faible que ceux monophasés synchrones ; ils s'arrêtent pour une surcharge et se comportent comme des transformateurs ; ils absorbent un courant excessif

## 98 ÉLECTROMOTEURS MONOPHASÉS ASYNCHRONES

qui peut nuire aux distributeurs. Les essais publiés sur des électromoteurs asynchrones Brown à courants monophasés accusent des rendements satisfaisants et supérieurs à ceux des électromoteurs synchrones. Leur vitesse angulaire est constante.

Ils peuvent donc rendre des services dans certains cas, surtout pour les petites puissances, bien que le démarrage, la mise en marche et la mise en charge laissent encore à désirer et soient de nature à apporter certains troubles dans les distributions d'énergie électrique.

---

## CHAPITRE IX

### ÉTUDE DES ÉLECTROMOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS

Le principe sur lequel repose le fonctionnement des électromoteurs à courants polyphasés est tout différent de celui en vertu duquel fonctionnent les électromoteurs à courants alternatifs monophasés.

Il consiste dans l'emploi de ce qu'on appelle un *champ tournant*.

**1. Définition du champ tournant.** — On a vu plus haut qu'un alternateur ordinaire se compose essentiellement d'une bobine induite mobile dans un champ magnétique fixe (aimant ou électro-aimant) et que, à chaque tour de la bobine, il y avait production d'un courant alternatif.

Réciproquement, si on disposait dans l'inté-

rieur d'un champ magnétique mobile autour d'un axe une bobine fermée sur elle-même et mobile autour du même axe, la rotation imprimée au champ aurait pour effet d'engendrer dans la bobine de forts courants. Il s'y développerait, par suite, un couple énergétique qui déterminerait la rotation de cette bobine autour de l'axe. On aurait ainsi constitué un alternateur à champ tournant.

Si maintenant on parvenait, par l'envoi de courants alternatifs dans un inducteur fixe en forme d'anneau, à y faire naître des pôles successifs dans un ordre déterminé et se déplaçant avec une vitesse également déterminée on aurait constitué un champ tournant sans avoir recours à un mouvement mécanique. Si, ensuite, dans l'intérieur de cet anneau, on disposait un induit fermé mobile autour d'un axe, cet induit prendrait un mouvement de rotation.

On aurait ainsi constitué un électromoteur à champ tournant.

## 2. Moyen de réaliser un champ tournant.

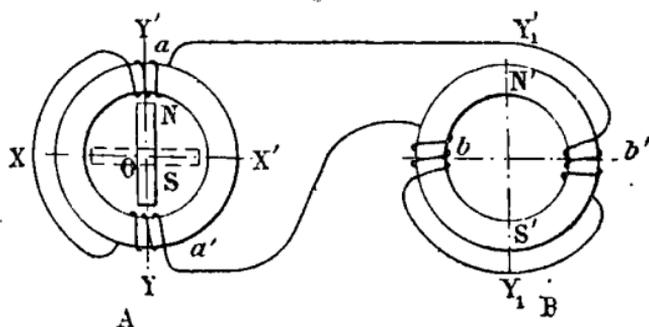
— Voici comment on peut réaliser cette combinaison de la manière la plus simple :

En A (*fig. 24*) est un alternateur composé d'un inducteur mobile représenté par un aimant NS tournant autour d'un axe O, et d'un

induit fixe représenté par un anneau muni de deux enroulements en série  $a, a'$ .

En B se trouve un électromoteur composé d'un inducteur immobile en forme d'anneau semblable à l'induit de l'alternateur et garni comme lui de deux enroulements en série  $b, b'$ ,

Fig. 21



mais placés dans un sens diamétralement opposé.

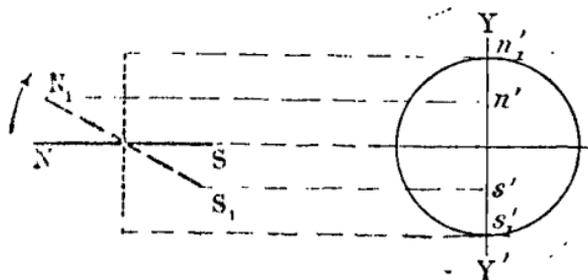
Quand on fait tourner l'aimant NS de l'alternateur A, il se produit dans les circuits  $a, a'$ , des courants induits qui parcourent les enroulements  $b, b'$ , de l'électromoteur déterminant dans l'anneau de ce dernier deux pôles  $N'S'$  dont l'intensité, nulle quand l'aimant NS est dans le plan  $XX'$ , ira en croissant quand cet aimant tournera de gauche à droite, atteindra son maximum quand il sera dans le plan  $YY'$  décroîtra quand il aura dépassé ce plan et redeviendra

nulle lorsque l'aimant NS se retrouvera dans le plan XX'.

Mais si le mouvement de l'aimant continue dans le même sens, l'intensité du magnétisme de l'inducteur annulaire de l'électromoteur B repassera par les mêmes phases, avec cette différence toutefois que le pôle sud de l'aimant mobile se trouvant maintenant au-dessus de l'axe XX' au lieu d'être au-dessous, et le pôle nord se trouvant au-dessous de cet axe au lieu d'être au-dessus, la polarité de l'anneau de l'électromoteur B se trouvera renversée.

On peut représenter graphiquement les variations d'intensité du magnétisme de l'induc-

Fig. 25



teur du moteur B en projetant les positions successives de l'aimant mobile sur l'axe vertical YY' de l'anneau (*fig. 25*).

Quand l'aimant mobile occupe la position NS,

il n'y a pas d'aimantation dans l'anneau inducteur de l'électromoteur.

L'aimant ayant tourné dans le sens de la flèche, l'aimantation s'est développée dans l'anneau du l'électromoteur et quand il est arrivé dans la position  $N_1S_1$ , par exemple, cette aimantation de l'anneau est représentée en grandeur par ses projections sur l'axe des Y allant du centre en  $n'$  pour le pôle N et du centre en  $s'$  pour le pôle S (si l'on fait abstraction des pertes dues à la transmission du courant d'aimantation). Quand l'aimant est dans le plan vertical, l'aimantation de l'anneau inducteur de l'électromoteur est maxima et l'intensité du champ développé est alors représentée en grandeur par le rayon aboutissant à  $n'_1$  pour le pôle N et à  $s'_1$  pour le pôle S.

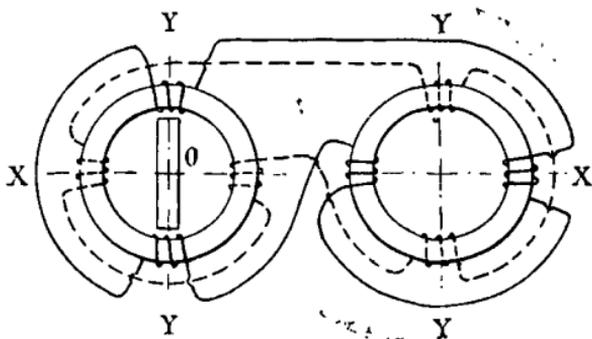
Ainsi, quand l'aimant qui constitue l'inducteur mobile de l'alternateur fait un quart de tour, l'aimantation produite dans l'inducteur de l'électromoteur passe de zéro à un maximum représenté graphiquement par le rayon aboutissant à  $n'_1$  pour le pôle N et à  $s'_1$  pour le pôle S. Quand l'aimant continue sa rotation et accomplit un nouveau quart de tour pour revenir à sa position horizontale, l'aimantation produite dans l'inducteur de l'électromoteur décroît du

maximum (rayon aboutissant à  $n'_1$  pour le pôle N et à  $s'_1$  pour le pôle S) à zéro. Puis, l'aimant continuant à se mouvoir dans le même sens, l'aimantation change de sens dans l'inducteur de l'électromoteur : elle croît de zéro au maximum, pour revenir à zéro et ainsi de suite.

On a ainsi développé un *champ oscillant* suivant l'axe  $YY'$ .

Si, maintenant, on complète la disposition précédente en garnissant l'induit de l'alternateur de bobines dans le plan  $XX'$  et l'inducteur de l'électromoteur de bobines dans le plan  $YY'$

Fig. 26

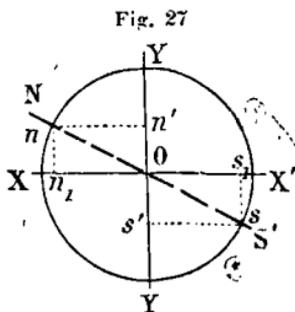


en les reliant comme l'indique le schéma de la *fig. 26*, on développera dans l'inducteur de cet électromoteur un deuxième *champ oscillant* suivant l'axe  $XX'$ .

On pourra représenter graphiquement ce deuxième *champ oscillant*, par les projections

de l'aimant mobile de l'alternateur sur l'axe  $XX'$ , en raisonnant comme précédemment pour le premier champ.

A un moment quelconque, correspondant à la position  $N'S'$  de l'aimant mobile, ces deux champs seront représentés, pour le pôle N par  $on'$  et  $on_1$  (fig. 27) et pour le pôle S par  $os'$  et  $os_1$ . On voit que leur résultante sera  $on$  et  $os$  formant la ligne  $ns$ .

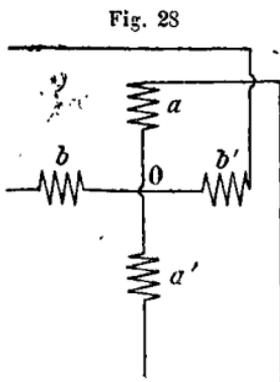


Cette ligne  $ns$  est animée d'un mouvement de rotation autour du point  $o$ .

Aussi, avec deux champs oscillants, on obtient un *champ tournant* dont l'intensité est représentée par la ligne constante  $on$  (pour le pôle nord)  $os$  (pour le pôle sud) dans l'inducteur de l'électromoteur, et qui produit le même effet qu'un aimant réel  $ns$  mobile autour de l'axe  $o$ .

**3. Champ tournant bipolaire diphassé.** — On peut montrer, par le calcul, qu'en faisant parcourir les deux bobines  $a, a'$ , de l'inducteur de l'électromoteur par un courant alternatif, et les deux bobines  $b, b'$ , de ce même inducteur par un autre courant alternatif de même période que

le précédent mais déphasé  $90^\circ$  ou de  $\frac{1}{4}$  de



période, on obtiendra au centre, en O, un champ tournant bipolaire d'intensité constante et de vitesse angulaire uniforme (fig. 28).

En effet, soient T, la période des courants alternatifs décalés de  $90^\circ$  et I,

leur amplitude. On aura en posant :

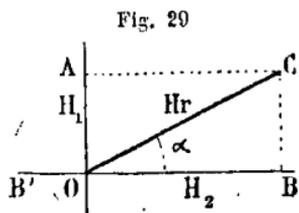
$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

pour l'intensité  $i_1$  du premier, à un moment quelconque t :

$$i_1 = I \sin \omega t$$

pour l'intensité  $i_2$  du deuxième, au même moment t :

$$i_2 = I \cos \omega t.$$



Si on représente par  $\Pi$ , l'intensité du champ produit par le courant

I, circulant dans l'un des cadres rectangulaires  $aa'$ ,  $bb'$  et par  $\Pi_1$  et  $\Pi_2$ , les intensités des

champs produits par les courants  $i_1$  et  $i_2$ , on aura :

$$\begin{aligned} H_1 &= H \sin \omega t \\ H_2 &= H \cos \omega t. \end{aligned}$$

Si on représente graphiquement ces deux intensités de champs  $H_1, H_2$  par les droites  $OA, OB$ , (fig. 29), leur résultante  $OC$  aura pour valeur :

$$OC = H_r = \sqrt{OA^2 + OB^2}$$

ou

$$H_r = \sqrt{H^2 \sin^2 \omega t + H^2 \cos^2 \omega t} = H = \text{const.}$$

Si  $\alpha$  est l'angle que fait à l'instant  $t$  la direction du champ résultant  $H_r$  avec le plan  $BB'$ , on aura :

$$\text{tg } \alpha = \frac{H_1}{H_2} = \frac{H \sin \omega t}{H \cos \omega t} = \text{tg } \omega t$$

donc  $\alpha = \omega t$ .

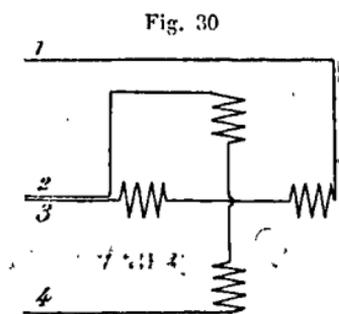
On obtient donc un champ constant dont la vitesse angulaire est uniforme et correspond à une révolution complète du champ pour une période complète des courants inducteurs.

On remarquera qu'à l'instant  $t$ , on a :

$$i_1 + i_2 = I (\sin \omega t + \cos \omega t).$$

C'est la valeur de l'intensité qui traverse, à cet

instant, les fils de retour 2 et 3 que l'on peut



réunir ainsi que l'indique le croquis (fig. 30) afin de réduire à trois le nombre des conducteurs. Il suffira de donner au conducteur unique de retour (2 — 3) une plus

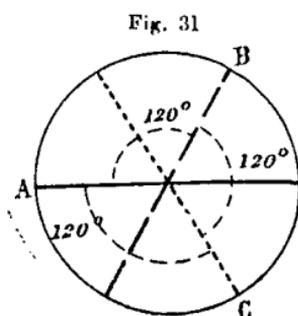
grande section qu'aux conducteurs 1 et 4.

Cette disposition permet donc de réaliser un *champ tournant diphasé bipolaire* au moyen de deux courants alternatifs monophasés décalés de  $\frac{1}{2}$  de période.

**4. Champs tournants bipolaires triphasés et polyphasés.** — On peut, de même, constituer un champ tournant avec trois courants alternatifs monophasés décalés de  $\frac{1}{3}$  de période et plus généralement avec  $n$  courants alternatifs monophasés décalés de  $\frac{1}{n}$  de période, ce qui conduit aux moteurs dits *triphases* et *polyphasés*.

En ce qui concerne le champ tournant à courants alternatifs triphasés on peut démontrer par le calcul, comme précédemment pour le champ tournant diphasé, que l'intensité est constante et la vitesse angulaire uniforme.

Dans ce cas, on a trois cadres dont les plans sont représentés par ABC (fig. 31) et qui sont parcourus par des courants allant de la périphérie au centre.



A un instant quelconque  $t$ , les intensités  $i_1, i_2, i_3$ , de ces courants ont pour valeurs :

$$i_1 = I \sin \omega t$$

$$i_2 = I \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$i_3 = I \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right).$$

Les intensités des trois champs seront au même moment :

$$H_1 = H \sin \omega t$$

$$H_2 = H \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$$

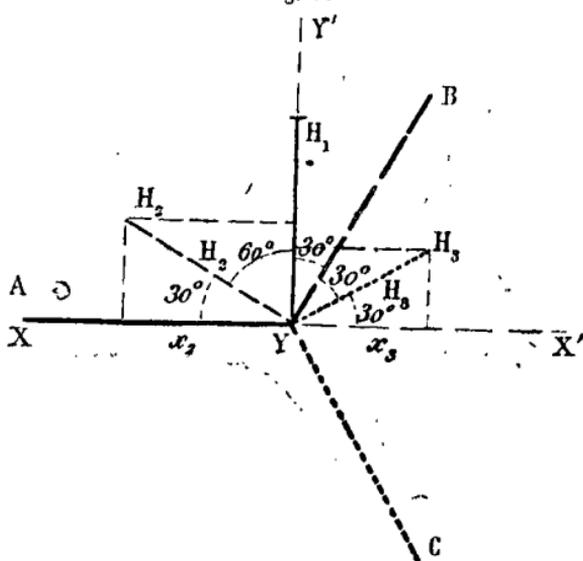
$$H_3 = H \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right).$$

Il représentant l'intensité du champ qui serait produit par le courant  $I$  circulant dans l'un des cadres.

Pour évaluer l'intensité  $H_r$  du champ résultant représentons  $H_1, H_2$  et  $H_3$ , par des droites perpen-

diculaires aux plans des trois cadres A, B, C (fig. 32), puis faisons la somme de leurs projections sur un axe YY' passant par l'intensité du

Fig. 32



champ  $H_1$  et ensuite sur un axe  $XX'$  perpendiculaire à l'axe  $YY'$ .

On a, pour les projections sur  $XX'$  :  $x_1 = 0$ .

$$x_2 = H_2 \cos 30^\circ = H \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \cos 30^\circ.$$

$$x_3 = -H_3 \cos 30^\circ = -H \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \cos 30^\circ.$$

$$X = x_1 + x_2 + x_3 =$$

$$= H \cos 30^\circ \left[ \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) - \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right]$$

et comme la quantité entre crochets est égale à

$$-\sqrt{3} \cos \omega t \text{ et comme } \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

on a :

$$X = -H \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sqrt{3} \cos \omega t = -H \cdot \frac{3}{2} \cos \omega t.$$

On a ensuite, pour les projections sur  $YY'$  :

$$y_1 = H_1 = H \sin \omega t$$

$$y_2 = -H_2 \cos 60^\circ = -H \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \cos 60^\circ$$

$$y_3 = -H_3 \cos 60^\circ = -H \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \cos 60^\circ.$$

$$\begin{aligned} Y &= y_1 + y_2 + y_3 \\ &= H \sin \omega t - H \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \cos 60^\circ \\ &\quad - H \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \cos 60^\circ \\ &= H \left[ \sin \omega t - \cos 60^\circ \left( \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right) \right]. \end{aligned}$$

La quantité entre parenthèses est égale à  $-\sin \omega t$  et  $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ , donc :

$$Y = H \left( \sin \omega t + \frac{1}{2} \sin \omega t \right) = \frac{3}{2} H \sin \omega t.$$

On a ensuite :

$$\begin{aligned} H_r &= \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{\left(\frac{3}{2} H \cos \omega t\right)^2 + \left(\frac{3}{2} H \sin \omega t\right)^2} \\ &= \frac{3}{2} H = \text{const.} \end{aligned}$$

On obtient donc un champ d'intensité constante et la valeur des composantes X et Y nous montre que le champ tourne avec une vitesse  $\omega$  (en posant comme précédemment  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ), c'est-à-dire que ce champ fait un tour par période des courants.

Nous remarquerons que la somme algébrique des intensités des courants qui produisent le champ est nulle. Cette somme  $i_1 + i_2 + i_3$  est égale en effet à :

$$I \left[ \sin \omega t + \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) + \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right].$$

La quantité entre crochets étant égale à zéro, on a :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Il en résulte que, pour transmettre les trois courants alternatifs décalés de  $\frac{1}{3}$  de période, on peut supprimer les fils de retour en réunissant les trois extrémités des circuits parcourus par les courants et, par suite, on n'a plus besoin que de

trois conducteurs (comme dans le cas des moteurs diphasés), chaque conducteur servant à chaque instant de fil de retour aux deux autres.

**5. Champs tournants multipolaires.** — Jusqu'ici il a été seulement question de champs tournants bipolaires obtenus à l'aide de courants diphasés ou triphasés ou multiphasés. Mais on peut produire un champ tournant multipolaire et, dans ce cas, la vitesse du champ se trouve réduite.

En effet, tandis que, dans le champ bipolaire, la vitesse était la moitié de la fréquence des courants employés à le former, dans un champ à  $m$  pôles la vitesse sera le  $\frac{1}{m}$  de la fréquence des courants qui le produisent.

On pourra, bien entendu, constituer des champs tournants multipolaires avec deux, trois, ou un plus grand nombre de courants.

**6. Variations du champ tournant.** — La théorie indique (comme on l'a vu plus haut) que l'on pouvait obtenir un champ tournant *constant* à l'aide de deux ou de trois courants ; mais la pratique a montré que la présence obligatoire du fer dans le système inducteur donne lieu à des phénomènes d'hystérésis, que l'induit réagit sur le champ qui l'entraîne et enfin que les courants alternatifs sont plus ou moins

sinusoïdaux, alors qu'on a supposé qu'ils étaient rigoureusement sinusoïdaux.

Pour ces diverses raisons le champ subit des variations périodiques de part et d'autre de sa valeur théorique et ces variations sont d'autant plus grandes que le nombre des bobines de l'inducteur est plus faible.

Ainsi, d'après des expériences faites par Siemens et Halskø, les fluctuations pratiquement nulles avec six bobines (parcourues par six courants décalés de  $\frac{1}{6}$  de période) atteindraient 13 % avec quatre bobines.

Il résulte de là que pour obtenir un champ tournant pratiquement constant (ce qui paraît désirable, pour avoir un couple constant), on serait amené à employer plus de trois courants alternatifs décalés; mais on se trouve alors entraîné à des complications de production et de transmission pour ces courants.

On a résolu le problème en augmentant le nombre des champs composants par des combinaisons d'enroulement.

**7, Types d'électromoteurs à champ tournant.** — On emploie actuellement pour constituer les électromoteurs à champ tournant des courants *diphases* et *triphases* et on multiplie les pôles inducteurs, ainsi qu'on le fait dans

les alternateurs en vue de réduire la vitesse angulaire.

Ces électromoteurs diphasés ou triphasés à champ tournant peuvent être, comme les moteurs à courants alternatifs monophasés, synchrones ou asynchrones, c'est-à-dire tourner à la même vitesse que la génératrice ou tourner à toutes les vitesses.

Nous allons indiquer le principe de leur fonctionnement.

**8. Électromoteurs à champ tournant synchrones.** — Considérons le schéma de la

Fig. 33

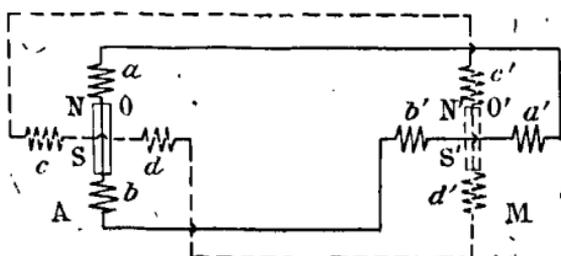


fig. 33 qui donne le principe de la production d'un champ tournant bipolaire à l'aide de courants diphasés fournis par un alternateur A à inducteur constitué par un aimant mobile NS autour de son axe O et à induit à quatre bobines *a*, *b*, *c*, *d*. Imaginons que, dans l'intérieur du champ tournant inducteur constitué

par les quatre bobines  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ ,  $d'$ , de l'électromoteur M, on place un aimant N'S' mobile autour de son axe O' ; la réaction des pôles tournants tendra à communiquer à cet aimant un mouvement synchrone de celui de l'aimant NS de l'alternateur A et de même sens.

Il est à remarquer que, dans un pareil électromoteur, il n'y a pas de points morts comme ceux qui existent dans un électromoteur synchrone monophasé.

En effet, au lieu d'un flux pulsatoire de direction constante, on a deux flux pulsatoires qui se combinent en un flux tournant, ainsi qu'on l'a établi plus haut (§ 2. *Moyen de réaliser un champ tournant*).

On peut comparer l'effet produit à celui qui résulte dans une machine locomotive du décalage des manivelles ; ce décalage supprime les points morts. Or, lorsque deux des bobines de l'électromoteur à champ tournant diphasé exercent une action nulle les deux autres bobines sont, par rapport à l'aimant mobile, dans les conditions du maximum d'action. Les pôles tournants entraînent donc l'aimant quelle que soit sa position initiale.

La vitesse de l'électromoteur est nécessairement liée à celle du générateur et l'avantage de

l'électromoteur biphasé ou polyphasé synchrone sur l'électromoteur synchrone monophasé est de démarrer automatiquement.

Il est évident qu'au lieu de se servir d'un aimant pour constituer le système induit de l'électromoteur on peut employer un électro-aimant. Dans ce cas, le dispositif est conçu de telle façon que les bobines de cet électro-aimant soient fermées sur elles-mêmes à la mise en train. Le flux tournant produit par les bobines traversées par les courants polyphasés réagit sur les bobines de l'électro-aimant formant l'induit et donne naissance à un couple moteur qui met cet électro-aimant en marche à une vitesse voisine du synchronisme.

Si on fixe sur l'arbre de l'induit une dynamo à courant continu, on produira le courant excitateur de l'électro-aimant et ce dernier recevra ce courant quand le synchronisme sera atteint.

Le démarrage d'un pareil électromoteur ne peut se faire sous charge. Mais, en pratique, les courants induits à l'intérieur de l'électro-aimant par les inducteurs suffisent pour provoquer le mouvement, ce qui rend inutile l'emploi d'un courant continu fourni par une source extérieure.

**9. Électromoteurs à champ tournant asynchrones.** — Le fonctionnement de l'électromoteur asynchrone à champ tournant repose sur l'action exercée par ce champ sur un cylindre métallique ou un disque placé au centre de ce champ et mobile autour d'un axe.

Si, en effet, nous remplaçons l'induit (aimant ou électro-aimant) de l'électromoteur à champ

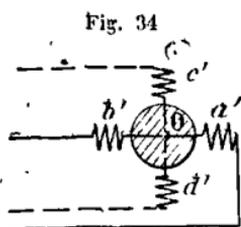


Fig. 34

tournant synchrone décrit plus haut par un cylindre conducteur dont l'axe mobile  $O$  coïncide avec celui du champ (*fig. 34*), ce cylindre tendra à être entraîné dans le sens de la rotation du champ tournant par les courants induits qui s'y développeront.

Si, en effet, nous remplaçons l'induit (aimant ou électro-aimant) de l'électromoteur à champ tournant synchrone décrit plus haut par un cylindre conducteur dont l'axe mobile  $O$  coïncide avec celui du champ (*fig. 34*), ce cylindre tendra à être entraîné dans le sens de la rotation du champ tournant par les courants induits qui s'y développeront.

Mais la vitesse de rotation du cylindre n'atteindra jamais celle du champ inducteur, sans quoi le flux de force qui traverserait l'induit serait constant et il n'y aurait plus de force électromotrice induite dans le cylindre.

On voit donc que l'électromoteur ainsi constitué est d'une simplicité remarquable ; il ne tourne pas synchroniquement avec le générateur comme lorsque l'induit est un aimant ou

un électro-aimant, mais sa vitesse est variable avec le couple résistant.

Les électromoteurs polyphasés asynchrones étant maintenant assez employés en raison des propriétés que nous venons d'indiquer, nous donnerons quelques renseignements sur leur mode de construction et sur leurs conditions de fonctionnement.

#### **10. Mode de construction des électromoteurs à champ tournant asynchrones.**

— La disposition indiquée plus haut, pour l'induit, d'un disque ou cylindre mobile ne peut s'appliquer qu'à de très petits électromoteurs. Le couple moteur étant dû à la réaction des courants induits sur le champ inducteur, il convient, dans les machines d'une certaine importance, de diriger ces courants de manière qu'ils exercent l'effet maximum, autrement dit de manière que ces courants soient autant que possible normaux à la direction du champ et à celle du mouvement.

C'est ce qui a conduit à l'emploi d'induits à tambour formés de conducteurs en cuivre disposés suivant les génératrices d'un cylindre en fer qui est feuilleté pour diminuer la réluctance opposée au flux mobile.

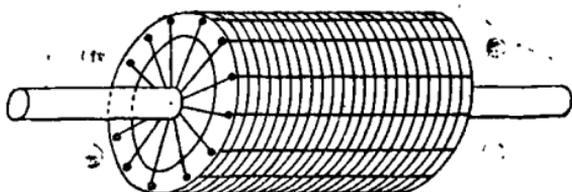
Ces conducteurs sont réunis de manière à for-

mer des spires fermées sur elles-mêmes ; dans ces conditions, il n'y existe pas de différence de potentiel appréciable.

La *fig. 35* montre le mode de construction des induits des électromoteurs Brown asynchrones polyphasés.

Des couronnes de tôles minces séparées par du papier sont juxtaposées de manière à former

Fig. 35



un cylindre creux. On évite ainsi la production des courants de Foucault dans la masse de fer. Ce cylindre est percé de trous parallèles aux génératrices et situés tout près de la surface extérieure ; on y place les barres de cuivre isolées du fer qui constituent l'enroulement de l'induit, le fer étant sa carcasse. On canalise de la sorte les courants de Foucault afin de les utiliser le plus avantageusement possible et on réduit en même temps l'entrefer pour obtenir une résistance magnétique relativement faible. L'ensemble présente une grande solidité.

L'inducteur est un anneau en fer feuilleté

comme l'induit, concentrique à ce dernier et pourvu d'enroulements continus à tambour, bobinés sur la face en regard de l'entrefer. Les courants arrivent à l'enroulement inducteur en des points équidistants.

**11. Production des courants diphasés et triphasés.** — On a vu plus haut que le champ inducteur tournant était constitué pratiquement par des courants alternatifs diphasés ou triphasés.

On a cherché à alimenter l'inducteur par un seul circuit de transmission et à produire, à l'aide d'un alternateur à courants alternatifs monophasés deux courants inducteurs décalés l'un par rapport à l'autre.

Parmi les moyens proposés nous citerons :

1° Celui qui consiste à alimenter l'un des champs inducteurs par le courant alternatif venant directement de la source et l'autre champ (placé à angle droit) par une dérivation dans laquelle on a intercalé un transformateur produisant le décalage :

2° Celui qui consiste à brancher les deux circuits inducteurs sur la même canalisation alternative mais en donnant à l'un des circuits une grande résistance ohmique et un grand coefficient de self-induction. Par une proportion con-

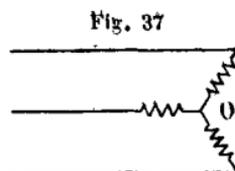
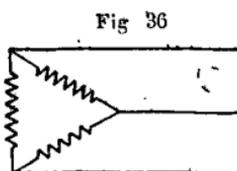
venable de ces deux facteurs, on conçoit qu'il soit possible d'obtenir le décalage d'un quart de période.

Enfin le décalage peut encore être obtenu par l'intercalation d'un condensateur dans l'un des circuits.

Mais tous ces procédés de transformation, quelque ingénieux qu'ils soient, des courants monophasés en courants polyphasés ont reçu peu d'applications. On n'a guère employé jusqu'à présent que les courants diphasés et triphasés produits par des générateurs spéciaux reliés aux électromoteurs par trois ou quatre conducteurs.

Dans le cas des courants triphasé, les bobines inductrices excitant l'électromoteur sont reliées aux trois fils conducteurs de différentes manières.

On groupe les enroulements inducteurs de l'électromoteur en trois circuits disposés par



rapport aux fils de ligne en triangle ou en étoile. (fig. 36 et 37).

C'est le groupement en étoile qui est le plus employé parce que les courants excitateurs étant

égaux et en concordance de phases avec les courants de ligne, on peut se servir de la distribution pour alimenter à la fois des électromoteurs et des lampes qu'on dérive entre chacun des fils de

Fig. 38

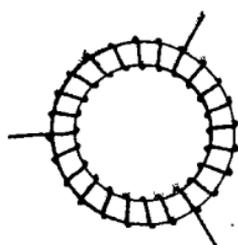
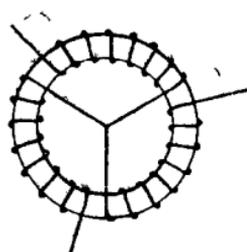


Fig. 39

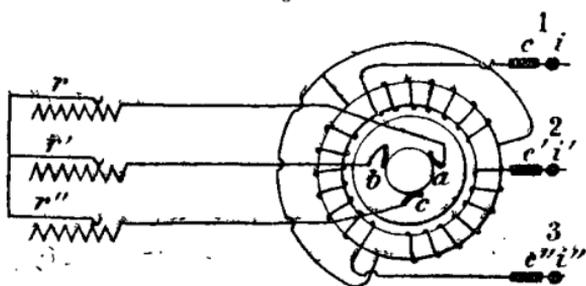


ligne et un fil de compensation reliant les points de concours  $O$  des trois branches des étoiles.

Ce fil supplémentaire peut, dans certains cas, être remplacé par un retour par la terre.

Les *fig.* 38 et 39 donnent le mode pratique

Fig. 40

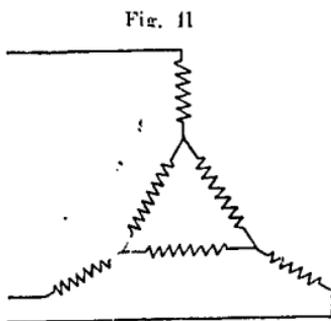


d'enroulement de l'anneau inducteur en triangle et en étoile.

Dans les électromoteurs Siemens l'induit mobile est divisé en trois circuits  $a, b, c$ , raccordés par des contacts glissants à trois rhéostats  $r, r', r''$ , destinés à réduire l'intensité au démarrage (*fig. 40*).

Enfin on a combiné les deux dispositifs d'enroulement de l'inducteur (en triangle et en étoile) dans le but d'obtenir un plus grand nombre de phases et de rendre ainsi le champ tournant plus uniforme.

La *fig. 41* indique le groupement des bobines excitatrices en six circuits dont les courants présentent entre



eux des écarts de phases de  $60^\circ$ . Mais l'avantage de cette disposition est contestée.

Beaucoup d'électriciens pensent qu'il n'y a pas de différence sensible au point de vue de l'uniformité du flux tournant entre les courants diphasés et les courants triphasés, les réactions d'induit corrigeant en grande partie les irrégularités dues aux inducteurs.

**12. Puissance développée par un électromoteur à champ tournant bipolaire.** — Nous allons indiquer, sans les démontrer, les

formules donnant la valeur de la puissance développée par un électromoteur à champ tournant bipolaire en fonction des quantités suivantes :

$N$ , flux de force dû au champ inducteur et qui traverse l'induit ;  $N$  a pour valeur :  $N = \mu HS$ , en désignant par  $H$ , l'intensité du champ tournant à un instant quelconque  $t$  ; par  $S$ , la surface d'une spire quelconque de l'induit, et par  $\mu$ , la perméabilité de l'induit pour la valeur  $H$  du champ ;

$r$ , résistance d'une spire de l'induit fermée sur elle-même ;

$n$ , nombre de spires (ou de barres) compté sur la moitié de l'induit ;

$l$ , coefficient de self-induction d'une spire de l'induit ; on a  $l = \frac{2\pi n^2}{R}$  en désignant par  $R$ , la résistance magnétique de tout le circuit magnétique ;

$\omega_1$ , vitesse angulaire du champ tournant ;

$\omega_2$ , " " de l'induit ;

$\omega$ , valeur absolue de la vitesse relative de l'induit par rapport au champ.

On a :

$$\omega = \omega_1 - \omega_2.$$

On établit, par le calcul (1), que le couple moteur  $G$  produit par l'action des courants induits dans les spires de l'armature sur le champ inducteur, a pour expression :

$$G = \frac{n}{2} \frac{\omega N^2}{r^2} \cos \varphi \sin \varphi$$

$\varphi$  étant l'angle de décalage de l'intensité et de la force électromotrice de l'induit,

On a :

$$\varphi = \text{arc tg } \frac{\omega l}{r} \quad \text{ou} \quad \text{tg } \varphi = \frac{\omega l}{r}.$$

On peut donc remplacer  $\cos \varphi \sin \varphi$  dans l'expression précédente et il vient :

$$G = \frac{n}{2} \cdot \frac{\omega^2 N^2 l}{r^2 + \omega^2 l^2}.$$

Pour une certaine valeur de  $\omega$ , ce couple est constant.

Dans les moteurs existants, la vitesse relative  $\omega$  est faible ; environ les trois centièmes de la vitesse  $\omega_1$  du champ tournant inducteur.

Quand  $\omega$  tend vers zéro, c'est-à-dire quand  $\omega_1$

(1) G. DE CHASSELOUP-LAUBAT. — *Note sur les courants alternatifs polyphasés*, Société des Ingénieurs civils, Bulletin d'Août 1893.

et  $\omega_2$  tendent à être égaux, le couple tend vers zéro.

Le couple augmente avec  $\omega$ ; il devient maximum quand la vitesse relative de l'induit par rapport au champ  $\omega$  est elle-même maxima, c'est-à-dire quand  $\omega_2 = 0$ .

A ce moment,  $\omega = \omega_1 - \omega_2 = \omega_1$ ; l'induit est arrêté.

Le couple est donc maximum au moment du démarrage, comme dans le cas des électromoteurs à courant continu, A ce moment, le couple a pour expression :

$$G_m = \frac{n}{2} \frac{\omega_1^2 N^2 l}{r^2 + \omega_1^2 l^2}.$$

La puissance absorbée par la rotation de l'induit  $p_r$  est égale au produit de la vitesse de l'induit par le couple moteur, c'est-à-dire à :

$$p_r = \omega_2 G = \frac{n}{2} \cdot \frac{\omega_2 \cdot \omega^2 N^2 l}{r^2 + \omega^2 l^2}.$$

Il est intéressant de rechercher pour quelle valeur de  $\omega$  cette puissance devient maxima pour un électromoteur donné.

Or, en supposant tous les facteurs constants, sauf  $\omega$ , et en posant  $\lg \varphi_1 = \frac{\omega_1 l}{r}$ , on trouve, par le calcul, que la valeur maxima  $\omega_m$  qui corres-

pond à la puissance  $p_r$  maxima, est comprise entre  $\omega = 0$  et  $\omega = \omega_1$  et qu'elle a pour expression :

$$\begin{aligned}\omega_m &= \frac{r}{l} \left[ \sqrt[3]{\frac{\sin \varphi_1 + 1}{\cos \varphi_1}} + \sqrt[3]{\frac{\sin \varphi_1 - 1}{\cos \varphi_1}} \right] \\ &= \frac{r}{l} \left[ \sqrt[3]{\operatorname{tg} \left( \frac{\varphi_1}{2} + \frac{\pi}{4} \right)} + \sqrt[3]{\operatorname{tg} \left( \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\pi}{4} \right)} \right].\end{aligned}$$

Et la valeur de  $p_r$  maxima correspondant à ce maxima de vitesse relative de l'induit par rapport au champ inducteur, est alors :

$$p_{r \max} = \frac{n}{2} N^2 l \frac{\omega_m^3 (\omega_1 - \omega_m)}{r^2 + \omega_m^2 l^2}.$$

A ce moment, l'induit tourne à la vitesse  $\omega_2 = \omega_1 - \omega_m$ .

On remarquera que la valeur de  $\omega_m$  dépend de celles de  $r$ , de  $l$  et de  $\operatorname{tg} \varphi$ , c'est-à-dire de  $\omega_1$ . Cette valeur de  $\omega_m$  dépend donc des conditions de construction du moteur, de la période des courants qui l'alimentent et de la vitesse angulaire du champ tournant inducteur.

**13. Rendements d'un électromoteur à champ tournant bipolaire.** — Le rendement électrique  $\eta_i$  est le rapport de la puissance  $p_r$  absorbée par la rotation de l'électromoteur à la puissance électrique totale qui lui est fournie.

On a vu que la puissance absorbée pour la rotation de l'induit est égale à  $p_r = \omega_2 G$ .

Quant à la puissance totale fournie à l'électromoteur, elle se compose de  $p_r$  et d'une certaine puissance  $p_c$  qui a été convertie en chaleur dans les conducteurs composant la machine.

$$\eta_{ii} = \frac{p_r}{p_r + p_c}.$$

Cette perte  $p_c$  due à la résistance de l'induit dépend de la section des conducteurs et de l'intensité du courant qui y passe. Si on appelle  $r$ , la résistance d'une spire de l'induit fermée sur elle-même, ainsi qu'il a été dit plus haut, et  $i$ , l'intensité du courant qui y circule, on aura :

$$p_c = \Sigma r i^2 = \frac{n}{2} \frac{\omega^2 N^2}{r} \cos^2 \varphi.$$

Si on remplace  $p_r$  et  $p_c$  par leurs valeurs dans l'expression du rendement  $\eta_{ii}$ , on aura :

$$\begin{aligned} \eta_{ii} &= \frac{\frac{n}{2} \omega_2 N^2 \frac{\omega^2 l}{r^2 + \omega^2 l^2}}{\frac{n}{2} \omega_2 N^2 \frac{\omega^2 l}{r^2 + \omega^2 l^2} + \frac{n}{2} \omega^2 N^2 \frac{\cos^2 \varphi}{r}} = \\ &= \frac{\omega_2}{\omega_2 + \frac{r}{l}} \end{aligned}$$

à cause des relations :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega l}{r}$$

et

$$\cos^2 \varphi = \frac{r^2}{r^2 + \omega^2 l^2}.$$

On voit que, quelle que soit la vitesse  $\omega_2$  de l'induit, le rendement électrique sera d'autant meilleur que  $r$  sera plus faible et  $l$  plus grand.

En outre, à mesure que  $\omega_2$  augmente,  $\eta_i$  tend vers l'unité; seulement la puissance développée est maxima pour  $\omega_2 = \omega_1 - \omega_m$ , et au delà de cette valeur de  $\omega_2$  la puissance développée diminue pour devenir nulle quand  $\omega_2 = \omega_1$ , c'est-à-dire quand l'électromoteur tourne à vide.

Pour obtenir une bonne utilisation spécifique des matériaux employés dans la construction de la machine, il faut adopter une vitesse normale de marche voisine de  $\omega_2 = \omega_1 - \omega$ ; ceci suppose que l'on a étudié et tracé la courbe de la fonction de  $\omega$  qui entre dans la valeur de  $p_r$  maxima, c'est-à-dire de la fonction :

$$\frac{\omega^2 (\omega_1 - \omega)}{r^2 + \omega^2 l^2}$$

afin de voir si elle varie rapidement ou non dans le voisinage de  $\omega = \omega_m$ .

Cette étude doit être faite pour chaque électromoteur puisqu'elle dépend des valeurs de  $\omega_1$ ,  $r$ , et  $l$ .

On ne saurait admettre *a priori* pour  $\omega_2$  une valeur voisine de  $\omega_1$ . Dans ce cas, en effet, on aurait certainement un bon rendement électrique mais, par contre, on pourrait craindre que l'électromoteur ne puisse développer qu'une faible partie de sa puissance.

Le *rendement industriel* est, comme on sait, le rapport de la puissance mécanique utile  $p_u$  disponible sur l'arbre de l'induit à la puissance  $P$  fournie aux bornes de l'électromoteur sous forme d'électricité.

$p_u$  est égale à :

$$P - p_c - p_f$$

et

$$P = p_r + p_u.$$

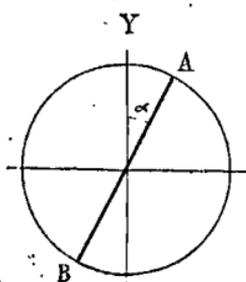
Nous connaissons  $p_r$  et  $p_u$ , par suite  $P$ .

Reste à calculer  $p_f$ , puissance absorbée par les frottements mécaniques et électriques, ces derniers résultant des courants de Foucault et de l'hystérésis.

Les pertes de puissance  $p_f$  dues aux frottements électriques varient avec le volume du fer employé dans la construction de l'inducteur et

de l'induit, avec l'induction magnétique à laquelle ce fer est soumis et avec la période des courants alternatifs employés.

Fig. 42



On ne peut donner une formule générale de calcul pour l'évaluation de ces pertes, mais on peut observer qu'elles seront d'autant plus grandes que l'induction magnétique sera plus élevée et la période plus courte.

Dans le cas d'un système inducteur bipolaire dans lequel le champ tournant fait un tour par période des courants, la période  $T_1$  dans les inducteurs est donnée par l'expression :

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}.$$

Cette période dépend exclusivement des courants qui alimentent l'électromoteur.

Dans l'induit, les courants ont une période  $T$  donnée par l'expression :

$$T - \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

En effet, en représentant par  $AB$  (*fig. 42*), une spire quelconque de l'induit au moment  $t$  ;

par  $oY$ , la direction du champ tournant à cet instant ; par  $\alpha$ , l'angle de  $AB$  avec  $oY$  ; par  $N$ , le flux de force dû au champ inducteur qui traverse l'induit et par  $N'$ , la valeur du flux de force qui traverse  $AB$ , on a :

$$N' = N \sin \alpha$$

d'où

$$\frac{dN'}{dt} = \frac{d\alpha}{dt} N \cos \alpha.$$

$\frac{d\alpha}{dt}$  représente la vitesse angulaire relative de l'induit par rapport au champ tournant, c'est-à-dire  $\omega$ , mais cette valeur doit être prise négativement:  $\frac{d\alpha}{dt} = -\omega$ .

Par suite, la force électromotrice induite dans la spire est :

$$e = -\frac{dN'}{dt} = \omega N \cos \alpha.$$

Comme  $\alpha = \omega t$ , on voit que les spires sont traversées par des courants alternatifs dont la période  $T$  est donnée par  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

Si on se rappelle que  $\omega = \omega_1 - \omega_2$ , on voit que  $T$  sera toujours plus grand que  $T_1$ .

Au point de vue des pertes dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault, il y a intérêt à ré-

duire autant que possible le fer dans le système inducteur; c'est pourquoi, dans les machines importantes, on place l'inducteur dans l'intérieur de l'induit et on emploie des courants de périodes relativement longues.

On peut attribuer aux pertes par frottements électriques (courants de Foucault et hystérésis), une valeur au plus égale à 5 % ainsi que paraissent le démontrer des expériences pratiques. C'est une base que l'on peut employer pour le calcul d'un électromoteur.

**14. Appareils de démarrage des électromoteurs à champ tournant.** — Au démarrage, l'induit est immobile et la vitesse relative  $\omega$  est égale à celle du champ  $\omega_1$ . A ce moment, le moteur est comparable à un transformateur dont le circuit secondaire serait en court-circuit, et les courants induits atteignent leur maximum d'intensité. Au point de vue de l'électromoteur lui-même, cette intensité ne peut être dangereuse si la machine est de faible puissance; le seul inconvénient c'est de provoquer un appel de courant anormal qui produit une baisse de tension notable sur le réseau. Mais si l'électromoteur était de grande puissance, le fait d'y introduire le courant sans précautions équivaldrait à la mise en court-circuit de

la génératrice et l'intensité du courant induit développé dans l'électromoteur serait dangereuse pour sa conservation.

Donc, sauf pour les petits électromoteurs, il faut, à la mise en marche, introduire une résistance (comme dans le cas des électromoteurs à courant continu), de préférence une résistance inductive, soit dans le circuit inducteur pour diminuer le flux, soit dans le circuit induit pour augmenter sa résistance, afin que le courant pris au générateur ne soit pas exagéré.

Mais, d'autre part, tandis qu'un électromoteur à courant continu peut produire au démarrage un couple plusieurs fois supérieur au couple normal, un électromoteur à courants polyphasés à induit fermé ne peut produire qu'un couple peu supérieur au couple normal.

La résistance introduite dans l'induit ne permet d'accroître le couple de démarrage que dans une certaine mesure, car un courant excessif augmenterait la réaction d'induit au point de rendre négligeable le flux utile.

Pour introduire des résistances dans l'induit quand celui-ci est mobile, il faut avoir recours à des bagues montées sur l'axe et à des frotteurs, ainsi que nous l'avons représenté schématiquement sur la *fig. 40*. Les résistances  $r$ ,  $r'$ ,  $r''$ ,

à intercaler dans l'induit, sont reliées à ce dernier par trois fils aboutissant à la boîte qui les contient ; une manivelle permet d'introduire ou de supprimer simultanément ces résistances. Quant aux trois lignes d'arrivée du courant numérotées de 1 à 3 sur le croquis de la *fig. 40*, ils sont munis d'interrupteurs  $i, i', i''$ , et de coupe-circuits  $c, c', c''$ .

Dans le but de résoudre le desideratum énoncé plus haut, savoir : « Ne pas prendre au générateur ou au réseau de distribution un courant exagéré lors de la mise en marche et fournir néanmoins à l'électromoteur un courant assez considérable sous une tension faible pour lui permettre de démarrer sous charge » ; en supprimant l'emploi des bagues et des frotteurs, on pourrait, semble-t-il, se servir d'un transformateur. Le fil fin de ce transformateur serait placé sur la ligne et le gros fil sur l'un des circuits, l'opération se répétant pour chaque circuit. Mais ce dispositif ne permettrait pas à l'électromoteur d'arriver à une vitesse suffisante pour que l'on pût supprimer l'artifice et remettre les choses en l'état normal.

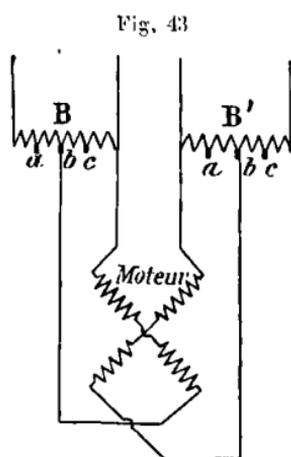
Il fallait combiner un appareil de démarrage tel qu'en utilisant les phénomènes de self-induction et d'induction mutuelle, on obtint le cou-

rant intense nécessaire au départ sans prendre un courant exagéré sur la ligne et qu'on ait une vitesse suffisante pour pouvoir enlever ce courant brusquement et remettre les choses en l'état. C'est ce à quoi est arrivé M. Boucherot qui a fait l'application de son procédé à Noisiel, dans une installation de transmission de force par électromoteurs à courants diphasés.

Il a composé l'appareil de démarrage de deux bobines de self-induction ayant même forme qu'un transformateur de petites dimensions et baignées dans l'huile.

Ces bobines, représentées en B, B', sur le schéma de la *fig. 43*, sont placés au moment du démarrage en dérivation aux bornes de chaque ligne et on ne prend sur elles qu'un petit nombre de spires qu'on dérive dans les circuits de l'électromoteur. Dès que ce dernier a atteint sa vitesse, les bobines sont enlevées du circuit.

Il suffit de deux positions du commutateur pour assurer ces manœuvres. On supprime ainsi



les bagues et les balais nécessaires dans le cas où l'on introduit les résistances de démarrage dans l'induit, quand ce dernier est mobile.

En somme, quand il s'agit de produire au démarrage un effort important, il faut employer certains artifices pour éviter de donner un trop grand choc aux génératrices, tout en fournissant à l'électromoteur une intensité relativement grande, mais le problème n'est pas plus difficile à réaliser que celui qui se pose dans les mêmes circonstances pour les électromoteurs à courant continu, surtout quand il s'agit d'électromoteurs shunt pour lesquels il faut user de procédés particuliers, ainsi qu'on l'a vu plus haut dans l'étude faite sur ces électromoteurs (Chap. V, § 1).

---

## CHAPITRE X

---

### COMPARAISON DES ÉLECTROMOTEURS A COURANT CONTINU ET DES ÉLECTROMOTEURS A CHAMP TOURNANT

Les électromoteurs polyphasés à champ tournant étant les seuls qui puissent pratiquement être utilisés dans le cas où l'on veut installer des transmissions électriques par courants alternatifs, il y a lieu de les comparer, au point de vue de cet emploi spécial, avec les électromoteurs à courant continu.

D'une manière générale, il résulte des travaux publiés par les électriciens qui ont étudié le fonctionnement des électromoteurs polyphasés, que ces moteurs ont des rendements industriels au moins aussi grands que ceux à courant continu.

Tandis que, pour ces derniers, le rendement est peu élevé à faible charge, il est, au contraire, élevé pour les faibles charges dans le cas des électromoteurs polyphasés et il se maintient ensuite à des valeurs satisfaisantes.

La vitesse angulaire constante (dans le cas des électromoteurs à courant continu excités en dérivation), ou variable (dans le cas des électromoteurs série) n'est pas à volonté constante ou variable dans de grandes limites pour ces électromoteurs. Au contraire, pour les électromoteurs à courants polyphasés, les variations de la vitesse de régime ne dépassent guère 5 à 6 % dans les électromoteurs de faible puissance et 2 à 3 % dans les électromoteurs puissants, quelle que soit la charge.

Avec ces électromoteurs, on peut faire varier la vitesse angulaire dans de grandes limites par l'introduction de résistances dans le circuit induit : le changement du régime de marche ne donne pas lieu à des étincelles et ne nécessite pas le déplacement des balais, comme dans les électromoteurs à courant continu, puisque les électromoteurs à courants polyphasés n'ont ni collecteur ni balais.

Tandis que tous les électromoteurs à courant continu dont la puissance est supérieure à un

cheval, doivent être munis de rhéostats de mise en marche, sans quoi les collecteurs et les balais souffriraient beaucoup et l'induit pourrait parfois être détérioré, les électromoteurs à courants polyphasés peuvent être employés sans rhéostats de mise en marche, du moins en ce qui concerne les puissances inférieures à une vingtaine de chevaux.

Le courant des électromoteurs polyphasés de force moyenne peut être renversé rapidement, brutalement, sans inconvénient pour le moteur, ce qui n'est pas le cas pour les électromoteurs à courant continu.

Les puissances spécifiques en cheval par kilogramme sont meilleures pour les électromoteurs à courants alternatifs polyphasés que pour ceux à courant continu.

Par ces différents motifs, les électromoteurs polyphasés permettent des solutions très satisfaisantes qui, dans certains cas, doivent les faire préférer aux électromoteurs à courant continu, en particulier quand il s'agit d'utiliser des sources d'électricité situées à de grandes distances.

Si maintenant on compare les électromoteurs polyphasés synchrones avec les électromoteurs asynchrones, on constate que ces derniers sont

plus simples, en ce sens qu'ils sont dépourvus d'excitatrices ; ils peuvent donner un couple de démarrage plus considérable que les premiers. Par contre, leurs inducteurs sont plus coûteux puisqu'ils doivent être feuilletés pour éviter les courants de Foucault et, par suite du retard de phase assez considérable entre la force électromotrice et le courant primaire, leur puissance est moindre, pour un poids donné, que celle des électromoteurs synchrones.

Les électromoteurs synchrones, dont le rendement est élevé même avec une charge moyenne, doivent donc être préférés au-delà d'une certaine puissance, d'après M. Blondel (1).

On a reproché aux électromoteurs polyphasés asynchrones d'avoir un couple de démarrage relativement faible et de ne pouvoir modifier leur vitesse sans l'introduction de résistances dans l'induit.

En ce qui concerne la première objection, qui n'a pas d'importance dans le cas où il s'agit d'alimenter un appareil dont le couple croît avec la vitesse, mais seulement dans le cas où il faut mettre en mouvement des engins à résis-

---

(1) BLONDEL. — *Théorie élémentaire des appareils à champ tournant*. Lum. élect., 25 novembre 1893.

tance constante et à grande inertie, on a vu qu'il existait des dispositifs simples pour augmenter le couple au démarrage sans causer de perturbation aux génératrices.

Dans certains cas même, cette propriété que possèdent les électromoteurs à courants polyphasés de ne démarrer généralement qu'avec un couple peu supérieur au couple normal, constitue un avantage précieux. Si, par exemple, il s'agit d'élever des pièces demandant des efforts inconnus, bien supérieurs au poids de ces pièces, il faut, quand on se sert d'électromoteurs à courant continu (pouvant développer un couple plusieurs fois supérieur au couple normal), disposer des interrupteurs automatiques qui coupent le courant dès que son intensité dépasse une certaine limite. Si, au contraire, on se sert d'électromoteurs à courants polyphasés, ces interrupteurs deviennent inutiles puisqu'on peut calculer l'électromoteur de façon à obtenir un couple maximum déterminé et tel que le démarrage ne se fasse pas si le couple résistant dépasse de 30 %, par exemple, le couple moteur normal. On a ainsi le moyen de limiter, par la construction de l'électromoteur même, les efforts qu'il peut produire.

En ce qui concerne la deuxième objection :

« de ne pouvoir modifier la vitesse sans l'introduction de résistances dans l'induit », elle n'a de valeur que pour les applications des électromoteurs à courants polyphasés à la traction, car en dehors de cette application, il en est peu dans lesquelles on ait besoin de faire varier la vitesse : on demande, au contraire, le plus généralement, une vitesse aussi constante que possible, ce qui est justement une propriété caractéristique des électromoteurs alternatifs.

Mais, même dans le cas de la traction électrique, les électromoteurs à courants polyphasés peuvent être avantageusement appliqués, ainsi que le constate le rapport présenté par M. Brown à la Société industrielle de Mulhouse (1896) sur l'emploi des électromoteurs à courants alternatifs triphasés aux tramways électriques de Lugano <sup>(1)</sup>.

On trouvera des renseignements intéressants sur l'installation d'une station centrale de production d'énergie électrique avec emploi d'électromoteurs à courants triphasés, dans une note de M. Alfred G. de Glehn à la Société industrielle de Mulhouse, relative à la construction

---

(1) Ce rapport a été reproduit par le *Journal de l'électricité*, Nos 28 et 29 des 11 et 18 juillet 1896.

d'une nouvelle fonderie à Mulhouse par la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

En résumé, quand les circonstances obligent à recourir aux courants alternatifs pour la distribution électrique de l'énergie on peut adopter les systèmes monophasés ou polyphasés.

On a recours aux systèmes monophasés qui n'exigent que l'emploi de deux conducteurs, quand l'énergie transmise doit être principalement utilisée à l'éclairage.

On emploie, au contraire, les systèmes polyphasés, diphasés ou triphasés, bien que ceux-ci demandent au moins trois conducteurs, lorsqu'il faut transformer la plus grande partie de l'énergie électrique en énergie mécanique. Les électromoteurs à champ magnétique tournant que l'on utilise dans ce cas, présentent, en effet, pour le plus grand nombre des applications, tous les avantages des électromoteurs à courant continu et ils leur sont même préférables par la grande simplicité de leur construction et par la sécurité absolue de leur fonctionnement.

Mais dans le cas intermédiaire où la quantité d'énergie qui est distribuée aux lampes et celle qui est distribuée aux électromoteurs, ont, approximativement, la même importance, les deux systèmes présentent des inconvénients chacun

en particulier. Ces inconvénients sont, pour le monophasé : les difficultés qu'offrent dans le démarrage, non seulement les électromoteurs synchrones, mais aussi les électromoteurs asynchrones ; pour le polyphasé : la complication, inutile même, de la partie destinée à l'éclairage seulement.

Ces inconvénients sont tels que bien souvent on est conduit, dans l'étude d'une installation d'éclairage et de force motrice, à admettre le courant polyphasé pour la force et le courant continu pour la lumière, ce qui oblige à constituer la station génératrice de deux ensembles électrogènes, l'un pour la lumière, l'autre pour la force motrice.

---

## TROISIÈME PARTIE

---

### SYSTÈMES DE TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES

Dans les diverses applications réalisées jusqu'ici, on a eu recours, pour les transmissions électriques, à deux systèmes, indépendants du type d'électromoteurs (à courant continu ou à courants alternatifs) et justifiés chacun par les circonstances locales, savoir :

- 1° Le système par groupes.
- 2° Le système individuel.

Dans le premier système, les machines-outils ou appareils quelconques à faire mouvoir sont reliés par transmissions mécaniques à un arbre commandé directement par un électromoteur branché sur la canalisation générale d'électricité. On peut concevoir ainsi des groupements d'appareils semblables, en nombre plus ou moins grand et devant travailler dans les mêmes conditions.

Dans le deuxième système, chaque machine ou appareil est mù par un électromoteur spécial, accouplé directement ou par l'intermédiaire d'organes mécaniques ayant pour but de diminuer la vitesse du moteur.

Nous admettons que le courant (continu ou alternatif) est fourni dans les conditions voulues par l'usine génératrice et distribué dans les différents locaux où sont répartis les électromoteurs, par des conducteurs principaux. Ces électromoteurs sont généralement alimentés par des dérivations prises sur les conducteurs afin de conserver l'indépendance de marche qui est ici une condition indispensable, hormis le cas exceptionnel où un ou plusieurs électromoteurs devant accomplir un travail réclamant la même puissance, fonctionneraient tous en même temps et subiraient des variations correspondantes et équivalentes.

Les conducteurs dérivés qui amènent, aux bornes de l'électromoteur, le courant pris sur les conducteurs principaux doivent, bien entendu, être munis de coupe-circuits et des appareils servant à rétablir ou à interrompre le courant.

Il est difficile de donner ici des schémas de distribution ; ils dépendent, en effet, des conditions spéciales dans lesquelles on se trouve placé et du type d'électromoteur employé.

## QUATRIÈME PARTIE

---

### AVANTAGES DES TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES SUR LES TRANSMISSIONS MÉCANIQUES

On peut maintenant se demander dans quels cas l'adoption d'une transmission électrique est réellement plus avantageuse qu'une transmission purement mécanique.

On ne peut évidemment répondre à cette question qu'après avoir fait dans chaque cas particulier une étude comparative dont les éléments sont : les prix de premier établissement et d'entretien, ainsi que la durée du travail journalier de chacun des engins commandés par la transmission.

Voici quelques données qui pourront être utiles pour une pareille étude comparative :

Dans le cas d'une transmission purement mécanique donnant le mouvement à un ensemble de machines-outils, les résistances passives de cette transmission sont à peu près constantes en charge et à vide.

Il en résulte que le *rendement vrai* d'une transmission purement mécanique, même dans le cas où elle est très bien établie, est toujours mauvais.

Afin de montrer combien la valeur de ce rendement est influencée par la durée du fonctionnement des outils, considérons l'un d'eux et appelons  $T_u$  la puissance qui doit être fournie sur son arbre de commande pour qu'il puisse accomplir son travail.

Soit  $T_m$  la puissance que la machine motrice de l'atelier devra produire pour qu'on puisse recueillir cette puissance utile  $T_u$  sur l'arbre qui porte le débrayage de l'outil.

Le rendement mécanique de la transmission sera :

$$\eta = \frac{T_u}{T_m}$$

d'où

$$T_u = \eta T_m.$$

Soit  $\frac{1}{n}$  la fraction de temps pendant lequel l'outil aura utilement fonctionné au bout d'une journée.

Le travail absorbé réellement par l'outil sera :

$$(1) \quad \frac{1}{n} T_u$$

ou

$$\frac{1}{n} \cdot \eta T_m.$$

Si on admet, ainsi qu'il a été dit plus haut, que la perte dans la transmission soit la même en charge qu'à vide, il faudra que la machine motrice de l'atelier fournisse pendant le temps d'inactivité de l'outil, c'est-à-dire pendant le temps  $1 - \frac{1}{n}$ , un travail qui aura pour expression :

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \left(1 - \frac{1}{n}\right) (T_m - T_u) = \left(1 - \frac{1}{n}\right) (T_m - \\ - \eta T_m) = \left(1 - \frac{1}{n}\right) (1 - \eta) T_m. \end{array} \right.$$

Et le rendement réel de l'ensemble sera le quotient du travail réellement absorbé par l'outil pendant sa période d'activité et de la somme du travail fourni par le moteur de l'atelier pendant la durée de fonctionnement utile de l'outil

et pendant la durée de non-fonctionnement de cet outil.

Le premier terme est donné par l'expression (1).

Le deuxième terme est la somme de  $\frac{1}{n} T_m$  et de l'expression calculée plus haut (2).

On aura donc :

$$\text{Rendement vrai} = \frac{\frac{1}{n} \eta T_m}{\frac{1}{n} T_m + \left(1 - \frac{1}{n}\right) (1 - \eta) T_m}.$$

Cette expression se réduit, après simplifications à :

$$\begin{aligned} \frac{\frac{1}{n} \eta}{\frac{1}{n} + \left(1 - \frac{1}{n}\right) (1 - \eta)} &= \frac{\frac{1}{n} \eta}{\frac{1}{n} + \left(\frac{n-1}{n}\right) (1 - \eta)} \\ &= \frac{\eta}{1 + (n-1) (1 - \eta)}. \end{aligned}$$

Elle permet de calculer le rendement de la transmission, si on connaît la fraction  $\frac{1}{n}$  du temps de fonctionnement de l'outil et le rendement mécanique  $\eta$  de la transmission mécanique.

Or, dans les ateliers, les outils ne fonctionnent pas utilement plus de la moitié du temps, quel-

quefois même pas plus du tiers de ce temps. Quant au rendement de la transmission mécanique, il est rarement de 0,70 ; il est souvent inférieur à ce chiffre.

Si on pose :  $\frac{1}{n} = \frac{1}{3}$  et  $\eta = 0,60$ , on voit que le rendement vrai de l'ensemble, transmission mécanique et outil, sera de :

$$\frac{0,60}{1 + (3 - 1)(1 - 0,6)} = \frac{0,60}{1,8} = 0,33.$$

Il est évident que, avec d'aussi faibles rendements vrais, pour un ensemble : moteur, transmission générale et outil, on consomme beaucoup plus de combustible qu'il n'est nécessaire et qu'on peut utilement rechercher, si, avec des transmissions électriques, on ne peut améliorer ce rendement global, par suite réaliser des économies de combustible qui doivent être mises en comparaison avec les intérêts et amortissements des plus-values de capital résultant de l'emploi d'électromoteurs, pour la conduite des outils, soit par groupes, soit individuellement.

Mais quand on se livre à une pareille étude comparative, il faut se garder d'exagérer la puissance à donner à l'électromoteur qui doit conduire le groupe de machines-outils ou les outils

individuellement, sans quoi on immobiliserait inutilement un capital dans les frais de premier établissement et on arriverait alors à trouver qu'il y a égalité de dépenses entre la transmission mécanique et la transmission électrique.

---

## CINQUIÈME PARTIE

---

### PUISSANCE RÉELLEMENT ABSORBÉE PAR LES OUTILS EN TRAVAIL.

---

#### RÉSULTATS D'ESSAIS

Il ressort de ce que nous venons de dire qu'il est extrêmement utile de recueillir les résultats d'expériences exécutées pour se rendre compte de la puissance réellement absorbée par chaque outil pendant sa période de travail maximum.

Voici quelques renseignements intéressants dans cet ordre d'idées :

M. Crompton, dans un discours prononcé en 1895, à l'Institution of Electrical Engineers, cite des essais faits par MM. Dorman, Long et C<sup>ie</sup> à Middlesbourg. Les machines et outils suivants étaient commandés par des moteurs à vapeur,

dont la puissance indiquée est exprimée en chevaux-vapeur dans la colonne MV. On a substitué à ces moteurs à vapeur des électromoteurs dont la puissance nominale en chevaux-vapeur est indiquée dans la colonne EM.

Machines et outils	MV.	EM.
Groupe de :		
3 scies à froid . . . . .	37	10,5
2 machines à affranchir . . . . .		
1 machine à affûter les scies . . . . .		
Machine à dresser . . . . .	14	3,5
Poinçonneuse double . . . . .	14	5
Machine à dresser . . . . .	14	3,5
" " . . . . .	16	3,5
Scie à froid de 26 pouces de diamètre (0 <sup>m</sup> ,65). . . . .	9	3,5

L'économie de combustible réalisée par l'emploi du système électrique pour les machines ci-dessus a été de trente tonnes par semaine.

Dans la séance du 8 mars 1895, de l'Institution of Electrical Engineers de Londres, M. A. Siemens a annoncé que, par la substitution, dans ses ateliers, de soixante-douze réceptrices électriques d'une puissance variant de  $\frac{1}{6}$  de cheval à cent chevaux aux dix-huit moteurs à vapeur qui conduisaient précédemment ses machines

outils, il économisait annuellement trois mille deux cents tonnes de combustible.

Voici maintenant des résultats d'essais relevés par M. G. Richard <sup>(1)</sup> et indiquant le travail dépensé par certaines machines-outils, mues par des électromoteurs. A représentent les ampères absorbés ; V, les volts aux bornes ; la puissance correspondante est indiquée en chevaux.

ESSAIS FAITS AUX ATELIERS DE BALDWIN  
A PHILADELPHIE  
PAR MM. VAUCLAIN ET HALSEY <sup>(2)</sup>

(Le travail mesuré aux bornes de la réceptrice comprend la résistance propre de la dynamo ajoutée à celle de la machine-outil et de l'outil lui-même.)

**Tours à roues.** — Deux roues sur l'essieu attaquées simultanément.

1° Tour de 2<sup>m</sup>,10 de hauteur de pointe, tournant des centres de roues en fonte :

Coupe légère . . . .	10 <sup>a</sup>	220 <sup>v</sup>	2 <sup>ch</sup> ,9
"  très forte . . . .	27	218	7,9
"  moyenne . . . .	"	"	6,1

(1) *L'Éclairage Électrique*, n° 14, t. VIII. 4 avril 1896.

(2) *American machinist*, du 6 février 1896.

2<sup>o</sup> Tour de 2<sup>m</sup>, 10 tournant des centres de 0<sup>m</sup>, 82.

Coupe de 13 millimètres de profondeur, avance 1 <sup>mm</sup> ,6 . . . . .	12 <sup>a</sup>	238 <sup>v</sup>	4 <sup>ch</sup> ,2
Coupe de 13 millimètres de profondeur, avance de 2 <sup>mm</sup> ,4 . . . . .	16	240	5,2
Coupe de 13 millimètres de profondeur, avance de 3 millimètres . .	19	228	5,8

3<sup>o</sup> Tour de 2<sup>m</sup>, 10 tournant des centres de 1<sup>m</sup>, 42.

A vide. . . . .	5 <sup>a</sup>	230 <sup>v</sup>	1 <sup>ch</sup> ,5
Forte coupe sur la jante.	20	230	6,2

**Alésoir horizontal.** — Alésoir de deux mètres de portée, type léger, alésage à lame d'un centre de roue. Diamètre de l'alésage, 175 millimètres.

Coupe forte . . . . .	15 <sup>a</sup>	234 <sup>v</sup>	4 <sup>ch</sup> ,7
Alésoir de deux mètres modèle puissant. Trou de 175 millimètres, forte coupe . . . . .	23	232	7,1
Dressage du moyeu, coupe de 13 millimètres de profondeur . . . . .	20	238	6,4

**Alésoir pour cylindres.** — Série d'alésoirs pour cylindres de locomotives de 460 milli-

mètres de diamètre, menés par une transmission que commande un électromoteur dynamo.

Réceptrice seule . . . . .	6 <sup>a</sup>	220 <sup>v</sup>	1 <sup>ch</sup> ,8
//  et transmis- sion (a) . . . . .			6,4
Un alésoir, coupe de 13 millimètres de pro- fondeur, 3 millimètres d'avance . . . . .	70	190	18
Soit déduction faite de (a)			12
Dressage des brides avec deux outils . . . . .	100	190	32
Soit net, déduction faite de (a) . . . . .			23

**Mortaiseuse pour longerons de locomotives.** — Mortaiseuse à deux têtes d'outils, avec chacune un moteur indépendant. Résultats pour un seul moteur. A manivelle avec retour rapide, course 200 millimètres, travail du fer.

Réceptrice seule . . . . .	7 <sup>a</sup>	240 <sup>v</sup>	2 <sup>ch</sup> ,3
//  avec machine à vide . . . . .	10	225	3
Coupe forte . . . . .	28	220	8,3
//  très forte . . . . .	35	220	10,3

A table de raboteuse avec renversement par courroies, deux porte-outils à moteurs indépendants.

Réceptrice seule . . . . .	7 <sup>a</sup>	240 <sup>v</sup>	2 <sup>ch</sup> ,4
Forte coupe . . . . .	40	220	11,8
A vide au moment du changement de marche	50	230	15,4

Mortaiseuse type normal, avec table de 300 millimètres de course, travail du fer.

Réceptrice et contre-arbre . . . . .	5 <sup>a</sup>	224 <sup>v</sup>	1 <sup>ch</sup> ,5
A vide. . . . .	5	230	1,5
Forte coupe, course de 300 millimètres. . .	15	220	4,4
Forte coupe, course de 200 millimètres. . .	20	188	5
Forte coupe, course de 100 millimètres. . .	20	224	6

Raboteuse. — Type Sellers nouveau, à retour 4 fois plus rapide que la course motrice. Largeur 1<sup>m</sup>,60 ; course 7<sup>m</sup>,50.

Réceptrice seule . . .	7 <sup>a</sup>	240 <sup>v</sup>	2 <sup>ch</sup> ,3
"    et contre-arbre . . . . .	15	220	4,4
A vide, course avant. .	35	235	11
"    retour . . . . .	40	220	11,8
Au moment du changement de marche . .	63	220	18,6
Coupe de 15 millimètres, avance 6 millimètres, 2 outils . . . . .	75	215	21,6

Raboteuse de 0<sup>m</sup>,90 de large, table de 3<sup>m</sup>,60. Travail du fer.

Réceptrice et contre-arbre . . . . .	10 <sup>a</sup>	200 <sup>v</sup>	2 <sup>ch</sup> ,7
A vide course avant. .	12	210	2,4
"    retour . . . . .	20	190	5
"    au changement de marche. .	40	200	10,7
Coupe avec un outil. .	25	220	7,4
"    avec deux outils.	49	210	13,8

MACHINES COMMANDÉES DIRECTEMENT  
PAR DES ÉLECTROMOTEURS (1)

**Poinçonneuse.** — Poinçonneuse à deux volants de 450 kilogrammes chacun, poinçonnant des trous de 41 millimètres dans une tôle d'acier de 25 millimètres. L'outil est commandé directement par un électromoteur en dérivation.

Dynamo à vide au départ . . . . .	45 <sup>a</sup>	218 <sup>v</sup>	13 <sup>ch</sup> ,1
Dynamo et poinçonneuse, frottements. .	5	220	1,5
Pendant le poinçonnage.	150	215	43,2

NOTA. — La dynamo de 10 chevaux a été mise hors de service après le poinçonnage de 200 trous.

**Cisailles.** — 1° Petite cisaille coupant à chaud des barres d'acier de 25 millimètres de côté.

Dynamo et cisaille en marche. . . . .	2 <sup>a</sup>	228 <sup>v</sup>	0 <sup>ch</sup> ,6
Au cisaillement, avec inducteurs en dérivation . . . . .	9,5	228	2,9
Au cisaillement avec inducteurs en compound	5,5	228	1,7

(1) RICHARD. — *L'Éclairage Électrique*, n° 31, t. VIII, 1<sup>er</sup> août 1896.

La dynamo d'un cheval était insuffisante.

2° Cisaille pour tôle engrenée par une dynamo de 10 chevaux en dérivation.

Dynamo et cisaille au départ . . . . .	30 <sup>a</sup>	218 <sup>v</sup>	8 <sup>ch</sup> ,8
Frottement . . . . .	5	221	1,5
Coupant des tôles de 90 × 16 millimètres .	20	200	5,4
Coupant des tôles de 200 × 16 millimètres.	38	220	11,2
Coupant des tôles de 350 × 20 millimètres.	77	215	22,2

L'intensité du courant excessive aux ralentissements, abîmait souvent l'armature ; l'addition de l'embrayage évita complètement ces accidents et donna les résultats suivants :

Dynamo et cisaille au départ . . . . .	40 <sup>a</sup>	218 <sup>v</sup>	11 <sup>ch</sup> ,7
Frottement . . . . .	5	222	1,5
Coupant des tôles de 200 × 25 millimètres.	35	220	10,2
Coupant des tôles de 230 × 5. . . . .	60	228	17,5
Coupant des tôles de 480 × 20 . . . . .	70	215	20,2

3° Grosse cisaille avec embrayage à frottement, dynamo de 15 chevaux en dérivation ou compound, avec courant de 220 volts.

## DYNAMO

Travail de la machine	Ampères avec dynamo	
	en dérivation	compound
Dynamo et cisaille au départ. .	70	50
" " en marche .	9 à 11	9 à 11
Coupant des fers de 165 × 13 millimètres . . . . .	"	15,20
Coupant des fers de 280 × 19 millimètres . . . . .	60	40
Coupant des fers de 100 × 13 millimètres . . . . .	20	"
Coupant des fers de 180 × 13 millimètres . . . . .	30	"
Coupant des rails d'acier de 70 × 70 de base × 47 . . .	55	45
Coupant des arbres d'acier de 64 millimètres . . . . .	73	50

4° Cisaille double Hill et Jones attaquée directement par la dynamo.

Travail de la machine	Ampères	
	en dérivation	compound
Dynamo et cisaille au départ. .	130	120
" " en marche .	18 à 25	20
Coupant des fers d'angle de 150 × 90 × 137 millimètres .	35	30

5° Cisaille pour cornières, volant de 450 kilogrammes avec dynamo de 15 chevaux montée sur le contre-arbre à 700 tours par minute.

Dynamo, contre arbre, courroies et poulies folles . . . . .	4,6 <sup>a</sup>	225 <sup>v</sup>	1 <sup>ch</sup> ,4
Cisaillant une cornière d'acier de 165 × 100 × 13 mil- limètres . . . . .	40	225	12,1

**Scie.** — Scie à chaud, 1 800 tours par minute, actionnée par une dynamo de 100 kilowatts à l'aide d'un contre-arbre.

Dynamo, contre-arbre et scie à vide . . . . .	25 <sup>a</sup>	220 <sup>v</sup>	7 <sup>ch</sup> ,4
Coupant une cornière de 100 × 113 . . . . .	100	219	29,3
Coupant un plat de 250 × 16 . . . . .	225	218	65,7
Coupant un fer à double T de 230 × 13 . . . . .	275	218	80,4
de 500 × 13. Coupant un fer à I	en 2,5 minutes .	100 <sup>a</sup>	30 <sup>ch</sup> ,8
		à 230 <sup>v</sup>	à
	en 1 minute .	175	53,9
		à 100	30,8
	en 55 secondes .	275	84,8
		à 100	30,8
	à 300	92,5	

**Fraiseuse.** — Fraiseuse pour tôle d'acier.  
Diamètre des fraises, 150 millimètres; largeur,

46 millimètres ; avance, 50 millimètres par minute. La dynamo en dérivation de 5 chevaux était insuffisante et chauffait par excès de travail.

Dynamo et marche à vide . . . . .	4 <sup>a</sup>	222 <sup>v</sup>	1 <sup>ch</sup> ,2
Coupant 330 × 1 <sup>mm</sup> ,2 . . . . .	30	220	8,8
Coupant 330 × 1 <sup>mm</sup> ,6 . . . . .	40	220	11,8

#### MACHINES COMMANDÉES ELECTRIQUEMENT PAR UNE LIGNE D'ARBRES

1° Arbre de transmission de 13<sup>m</sup>,50 de long, 55 millimètres de diamètre, à 7 paliers, tournant à 750 tours par minute, commandé par une dynamo en dérivation de 25 chevaux, actionnant deux poinçonneuses et une chanfreineuse double. Poinçonnage à froid.

Dynamo, arbre et poulies folles . . . . .	10 <sup>a</sup>	220 <sup>v</sup>	3 <sup>ch</sup>
Arbre, un poinçon, trous de 25 <sup>mm</sup> × 13 <sup>mm</sup> (épaisseur) . . . . .	20	220	5,9
Arbre, deux poinçons, trous de 25 <sup>mm</sup> × 13 <sup>mm</sup> (épaisseur) . . . . .	30	220	8,8
Arbre, deux poinçons et chanfreineuse . . . . .	45	220	13,3
Renversement de la chanfreineuse . . . . .	} 90 à 220	220	26
			à
			31,7

2° Arbre de 4<sup>m</sup>,50 de longueur et 45<sup>mm</sup> de diamètre, faisant 850 tours par minute, actionné par une dynamo de 25 chevaux en dérivation, et commandant 8 perceuses multiples.

Trous de 20<sup>mm</sup> élargis ou forés à 24<sup>mm</sup>.

Dynamo au départ.	100 <sup>a</sup>	215 <sup>v</sup>	28 <sup>h</sup> ,8
Dynamo, arbre et galets de friction au contact . . . . .			
Arbre et 5 perceuses en travail . . . . .	70	218	20,4
Arbre et 6 perceuses en travail . . . . .	85	218	24,8
Arbre et 7 perceuses en travail . . . . .	95	217	27,6
Arbre et 8 perceuses en travail . . . . .	100 à 120 <sup>a</sup>	215 <sup>v</sup>	28,8 à 34,6

3° Arbre de 4<sup>m</sup>,50 de longueur et 50<sup>mm</sup> de diamètre à 3 paliers, faisant 494 tours par minute, conduit par une dynamo en dérivation de 10 chevaux calée sur lui, actionnant un grand tour à cylindres avec deux outils. Cylindres en acier de 850<sup>mm</sup> de diamètre attaqués en plein par deux outils de 120<sup>mm</sup> de large.

Dynamo, arbre et tour à vide . . . . .	8 <sup>a</sup>	220 <sup>v</sup>	2 <sup>h</sup> ,3
En pleine marche (moyenne). . . . .	37,5	220	11
Variations . . . . .	{	20	5,9
		50	14,4

4° Arbre de 10<sup>m</sup>,50 de longueur et 41 millimètres de diamètre, à 7 paliers, mené directement à 850 tours par une dynamo de 10 chevaux en dérivation, actionnant 3 fraiseuses coupeuses à fraises de 750 millimètres sur 6 millimètres d'épaisseur.

Sciage d'acier doux ; 3 chevaux par scie coupant deux fers de 300<sup>mm</sup> × 10<sup>mm</sup> et 6 chevaux pour un fer de 180 × 10 millimètres.

Dynamo, arbre et courroies à vide . . . .	8,6 <sup>a</sup>	220 <sup>v</sup>	2 <sup>eh</sup> ,5
Avec une scie coupant des fers à I de 300 × 10.	10,6	220	3,1
Avec deux scies coupant chacune 2 fers en U de 180 × 10 et une coupant un fer à I de 177 × 10 . . . . .	22,6	220	6,7

---

## SIXIÈME PARTIE

### —

#### APPLICATIONS DES ÉLECTROMOTEURS A LA TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE

Il existe déjà un très grand nombre de machines-outils, d'engins et d'appareils divers auxquels on a appliqué avec succès et profit la puissance fournie par un moteur électrique spécial.

Dans bien des cas, on s'est contenté d'adjoindre l'électromoteur à l'appareil dont on a conservé la disposition générale ; dans d'autres cas, on a étudié l'appareil en vue de ce mode de commande spécial, ce qui a permis d'améliorer dans une mesure très appréciable le rendement industriel moyen de la machine-outil et de l'engin.

Il serait trop long et trop fastidieux de décrire ici les nombreux types existants ; nous préférons renvoyer le lecteur aux ouvrages spéciaux qui

.

ont été publiés à ce sujet ; mais il convient de faire remarquer qu'on peut classer les engins et machines diverses à commande électrique en deux grandes classes suivant qu'il s'agit d'obtenir finalement des mouvements de rotation très rapides ou des mouvements plus ou moins lents.

Les moteurs électriques, surtout ceux de faible puissance, tournant toujours à de grandes vitesses, s'appliqueront plus aisément et avec moins de perte de puissance aux appareils qui doivent être animés d'une vitesse égale ou peu différente de celle de ces moteurs qu'à ceux dont le travail doit s'accomplir à faible vitesse.

C'est ainsi que les moteurs électriques sont tout désignés pour la conduite directe des ventilateurs, des pompes rotatives, des perceuses et des principales machines-outils à travailler le bois.

Cette facilité de commande directe des ventilateurs par le moteur électrique a été la cause dominante de la vulgarisation de ces utiles appareils dans les grandes salles de réunion et même dans les maisons particulières.

Dans la marine, dans les usines, dans les ateliers, dans les mines, on se sert couramment aujourd'hui de ventilateurs avec aspiration d'air du dehors et refoulement au dedans sous pression attelés directement à des moteurs

électriques tournant à deux mille tours par minute.

La commande des pompes centrifuges présente les mêmes facilités que celle des ventilateurs, puisque la vitesse de l'engin permet la connexion directe avec l'électromoteur et que le travail étant régulier on n'a pas besoin de se préoccuper de gouverner l'électromoteur. La mise en marche et le stoppage seuls exigent quelque attention.

Il n'en est plus tout à fait de même quand on fait usage de pompes à pistons. Ici il faut transformer le mouvement de rotation de l'électromoteur en un mouvement rectiligne alternatif de vitesse moins grande ce qui nécessite l'usage de bielles et d'engrenages intermédiaires, mais malgré cette complication le fonctionnement de l'engin reste toujours commode et sûr.

Dans le cas où on emploie un électromoteur à courant continu, l'excitation de l'inducteur en série est généralement adopté.

On a remarqué que l'application directe des électromoteurs à la manœuvre des perceuses portatives pour les travaux métalliques avait permis de décupler la production journalière du perceur au cliquet, ce qui s'explique par les considérations suivantes :

Outre le bénéfice immédiat qui résulte d'un travail rapide, on profite des propriétés inhérentes à l'électromoteur : quand le foret rencontre, dans le métal, une partie dure, le moment résistant augmente et la vitesse de l'outil diminue, mais grâce à l'autorégulation de la dynamo, le moment moteur s'accroît aussi.

Le foret est donc sollicité avec plus de force, mais lentement et l'outil reprend lui-même sa vitesse de régime dès que l'obstacle a été franchi. Comme conséquence de ce qui se passe entre le moteur et l'outil, le coupant du foret est ménagé, ne s'égrène pas et se conserve plus longtemps ; les affutages sont moins fréquents qu'avec les perceuses mécaniques ordinaires et on peut donner au foret des vitesses relativement grandes.

L'application des moteurs électriques aux perceuses dites radiales permet de supprimer la transmission centrale et l'arbre rainé des machines similaires à commande mécanique. On peut appliquer directement l'électromoteur sur le porte-outil avec son train réducteur de vitesse ; des conducteurs souples et légers suivent le moteur dans tous ses déplacements. La radiale est ainsi réduite à sa plus simple expres-

sion, son poids devient moindre et sa construction plus facile.

On pourrait citer encore quantité d'autres machines ou appareils divers dans lesquels l'application directe ou presque directe de l'électromoteur est aussi avantageuse que pour les engins que nous venons d'énumérer.

Si maintenant nous examinons quelques types d'appareils où des organes de transmission intermédiaires sont rendus indispensables par la différence de vitesse de l'électromoteur et du dernier mobile, nous trouvons :

1° Les treuils de mines montés sur un chariot sur roues et dont le moteur doit faire tourner le tambour où s'enroule la corde qui tire ou élève le fardeau, et actionner l'essieu des roues pour la progression du chariot.

L'application de deux moteurs électriques avec trains d'engrenages réducteurs de la vitesse permet de résoudre le problème d'une manière très satisfaisante.

2° Les treuils fixes utilisés dans une foule d'appareils, tels par exemple que les cabestans des quais de ports et des gares de chemins de fer, les monte-charges et ascenseurs.

La manœuvre électrique des ascenseurs est une application qui, depuis peu, a pris une

grande extension dans les grandes villes et principalement à Paris, à partir du jour où l'on a considérablement majoré les tarifs de vente de l'eau sous pression utilisée pour des usages industriels.

Un ascenseur électrique comporte comme partie essentielle un treuil mis en mouvement par un électromoteur. La difficulté réside dans les procédés à employer pour gouverner à distance cet électromoteur, en tenant compte de ce que la manœuvre des organes de commande est confiée à des personnes inexpérimentées et agissant le plus souvent avec brusquerie.

On s'est heurté aussi à une autre difficulté dans les installations des ascenseurs avec moteurs électriques à courant alternatif simple, par suite de l'obligation où on est de démarrer sous charge ; on est cependant arrivé à la vaincre plus ou moins complètement, grâce à certains artifices dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ici <sup>(1)</sup>.

3° Les grues d'ateliers, de chantiers de travaux et de quais de ports.

Les grues électriques sont depuis longtemps

---

(1) G. DUMONT et G. BAIGNÈRES. — *Les Ascenseurs*, Dunod, 1897.

déjà utilisées dans les établissements industriels qui possèdent une distribution d'électricité. Elles permettent la manœuvre commode et rapide des matériaux ou des grosses pièces mécaniques. Ces grues sont fixes ou roulantes et dans ce dernier cas, elles comprennent un ou plusieurs électromoteurs auxquels le courant est amené par des frotteurs.

En ce qui concerne particulièrement les grues de quais dans les ports, il convient de signaler l'étude intéressante faite au Havre dans le courant de l'année 1894, par M. Delachanal pour déterminer le choix du moteur (1).

Après avoir énuméré les conditions spéciales que doivent remplir ces engins et décrit la série des essais effectués avec différentes sortes de moteurs à courant continu, l'auteur conclut à l'« adoption du moteur série avec rhéostat muni d'un commutateur permettant d'interrompre le courant après chaque opération et de faire varier la vitesse à volonté ».

4° Les machines-outils dont il existe de nombreux types devant satisfaire à des conditions spéciales et fonctionner à des vitesses variables.

---

(1) DELACHANAL. — *Société des Ingénieurs civils*. Bulletin d'avril 1895.

Enfin une quantité d'autres appareils dont le nombre s'accroît tous les jours, tels, par exemple, que : machines à coudre, machines à frotter, à polir, à cirer, à peindre, à couper le drap, à essorer, presses à imprimer, métiers à tisser, etc.

L'application des moteurs électriques aux machines et engins que nous venons de passer en revue, présente en outre des avantages déjà signalés, celui de permettre de déterminer à chaque instant la puissance exigée pour le travail effectué.

Grâce à ce renseignement, il devient facile de découvrir le défaut d'une machine et d'y remédier.

On comprend toute l'importance de cette observation, lorsqu'on examine les divers moyens mécaniques dont on disposait autrefois pour contrôler la marche d'une machine opératoire. On constate, en effet, que ces moyens sont insuffisants et souvent même impraticables.

Ainsi les jaugeages de débit et les diagrammes d'indicateurs de Watt ne donnent que des moyens d'ensemble. On n'en peut déduire la puissance absorbée par un outil que par différence, et encore n'obtient-on ainsi que des moyennes plus ou moins éloignées de la vérité et non l'analyse exacte des différentes phases du

travail. De même pour les essais par substitution au moyen du frein de Prony.

D'autre part, si les dynamomètres peuvent donner des résultats assez satisfaisants, quand on les utilise pour l'étude d'une machine tournant lentement (à trente ou quarante tours par minute) et sans chocs, à une allure douce et régulière, il devient presque impossible d'interpréter les diagrammes confus que donnent ces appareils appliqués à des machines d'une marche irrégulière ou rapide. Les dynamomètres spéciaux construits dans le but de donner la plus grande clarté possible aux diagrammes sont d'ailleurs forcément compliqués, d'un usage difficile en pratique et fort coûteux.

Au contraire, quand une machine opératoire est conduite par un moteur électrique, la puissance fournie à chaque instant aux bornes de celui-ci est donnée par la simple lecture d'instruments de mesure usuels : voltmètre et ampèremètre dans le cas des moteurs à courant continu, électrodynamomètres dans le cas de machines à courants alternatifs.

Si on adjoint à ces instruments des enregistreurs, des compteurs d'énergie, de courant et de temps, on recueille tous les éléments nécessaires pour se rendre un compte exact du travail accompli et des conditions dans lesquelles fonctionne la machine.

## BIBLIOGRAPHIE

*La Lumière électrique et l'Éclairage électrique.*

*L'Industrie électrique.*

*L'Électricien.*

J. LAFFARGUE. — *Les applications mécaniques de l'énergie électrique.* Fritsch. Paris, 1895.

G. DE CHASSELOUP LAUBAT. — *Note sur les courants alternatifs polyphasés.* Bull. d'août 1893 de la Société des Ingénieurs civils.

DELACHANAL. — *Les grues électriques du port du Havre.* Bull. d'avril 1895 de la Société des Ingénieurs civils.

H. LEBLOND. — *Les moteurs électriques à courant continu.* Berger-Levrault. Paris, 1894.

F. LOPPÉ et R. BOUQUET. — *Traité théorique et pratique des courants alternatifs industriels.* E. Bernard et C<sup>ie</sup>. Paris, 1894.

HILLAIRET. — *Communications sur les transmissions électriques.* Bull. de la Société d'encouragement et de la Société internationale des Électriciens.

G. DUMONT et G. BAIGNÈRES. — *Guide pratique d'électricité industrielle.* Paul Dupont. Paris, 1895.

— *Étude sur le transport de l'énergie à grande distance par l'électricité et sur les transmissions électriques par courant continu.* Grelot. Paris, 1895.

— *Les Ascenseurs.* Dunod et Vicq. Paris, 1897.

DUMONT — Électromoteurs et leurs applications 12\*



# TABLE DES MATIÈRES

—

## PREMIÈRE PARTIE

### DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE DANS UNE USINE

	Pages
1. Procédés actuellement employés . . . . .	5
2. Distribution par organes mécaniques. . . . .	7
3. Distribution par la vapeur . . . . .	8
4. Distribution par l'eau sous pression . . . . .	9
5. Distribution par l'air comprimé . . . . .	10
6. Distribution par l'électricité. . . . .	11
7. Comparaison du système électrique avec le système mécanique . . . . .	12
8. Conclusion de cette étude. . . . .	15
9. Organisation d'une transmission électro-méca- nique . . . . .	15

## DEUXIÈME PARTIE

### ÉLECTROMOTEURS

Classification des électromoteurs . . . . .	17
---	----

### CHAPITRE PREMIER

<i>Électromoteurs à courant continu</i> . . . . .	19
1. Définition du courant continu . . . . .	19
2. Principe de fonctionnement d'un électromo- teur à courant continu . . . . .	20

## 180 ÉLECTROMOTEURS ET LEURS APPLICATIONS

	Pages
3. Développement d'une force contre-électromotrice dans l'induit . . . . .	23
4. Valeur de l'intensité qui traverse l'induit. . . . .	25

### CHAPITRE II

<i>Types d'électromoteurs à courant continu . . . . .</i>	27
---	----

### CHAPITRE III

<i>Étude des électromoteurs série et shunt . . . . .</i>	30
1. Puissances des électromoteurs série et shunt . . . . .	30
2. Rendements des électromoteurs série et shunt. . . . .	32
3. Expression des puissances et des rendements. . . . .	33
4. Comparaison des électromoteurs série et shunt; effort au démarrage, variations de la puissance mécanique utile. . . . .	35
5. Avantages et inconvénients des deux types d'électromoteurs . . . . .	41

### CHAPITRE IV

<i>Étude de l'électromoteur compound. . . . .</i>	41
---	----

### CHAPITRE V

<i>Conditions de fonctionnement des électromoteurs à courant continu . . . . .</i>	48
1. Démarrage . . . . .	49
2. Réglage de la vitesse . . . . .	50
3. Inversion du sens de rotation . . . . .	52
4. Arrêt instantané d'un électromoteur . . . . .	54

TABLE DES MATIÈRES

181

	Pages
5. Arrêt à distance . . . . .	55
6. Freinage automatique pour électromoteur série . . . . .	56
7. Arrêt instantané pour électromoteur shunt . . . . .	58
8. Arrêt instantané à distance pour électromoteur shunt . . . . .	60
9. Arrêt instantané à distance pour électromoteur compound. . . . .	65

CHAPITRE VI

<i>Électromoteurs à courants alternatifs.</i> . . . .	66
1. Classification des électromoteurs à courants alternatifs. . . . .	66
2. Définitions relatives aux courants alternatifs. . . . .	67
3. Principe du fonctionnement d'un électromoteur à courants alternatifs . . . . .	80

CHAPITRE VII

<i>Types d'électromoteurs à courants alternatifs.</i>	83
---	----

CHAPITRE VIII

<i>Étude des électromoteurs à courants alternatifs monophasés.</i> . . . .	84
1. Électromoteurs monophasés synchrones. . . . .	84
2. Électromoteurs monophasés asynchrones . . . . .	89
3. Électromoteur Stanley et Kelly . . . . .	90
4. Électromoteur Elihu Thomson . . . . .	92
5. Électromoteur Brown . . . . .	94

## CHAPITRE IX

	Pages
<i>Étude des électromoteurs à courants alternatifs polyphasés</i> . . . . .	99
1. Définition d'un champ tournant . . . . .	99
2. Moyen de réaliser un champ tournant. . . . .	100
3. Champ tournant bipolaire diphasé . . . . .	105
4. Champs tournants bipolaires triphasés et polyphasés . . . . .	108
5. Champs tournants multipolaires . . . . .	113
6. Variations du champ tournant . . . . .	113
7. Types d'électromoteurs à champ tournant . . . . .	114
8. Électromoteurs à champ tournant synchrones . . . . .	115
9. Électromoteurs à champ tournant asynchrones . . . . .	118
10. Mode de construction des électromoteurs à champ tournant asynchrones . . . . .	119
11. Production des courants diphasés et triphasés. . . . .	121
12. Puissance développée par un électromoteur à champ tournant bipolaire . . . . .	124
13. Rendement d'un électromoteur à champ tournant bipolaire. . . . .	128
14. Appareils de démarrage pour électromoteurs à champ tournant. . . . .	134

## CHAPITRE X

<i>Comparaison des électromoteurs à courant continu et des électromoteurs à champ tournant.</i>	139
---	-----

TABLE DES MATIÈRES	183
--------------------	-----

### TROISIÈME PARTIE

	Pages
SYSTÈMES DE TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES . . .	147

### QUATRIÈME PARTIE

AVANTAGES DES TRANSMISSIONS ÉLECTRIQUES SUR LES TRANSMISSIONS MÉCANIQUES . . . . .	149
---	-----

### CINQUIÈME PARTIE

PUISSANCE RÉELLEMENT ABSORBÉE PAR LES OUTILS EN TRAVAIL	
Résultats d'essais . . . . .	155

### SIXIÈME PARTIE

APPLICATIONS DES ÉLECTROMOTEURS. . . . .	168
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	177



SAINT-AMAND (CHER). — IMP. BUSSIÈRE FRÈRES

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

# LEÇONS DE CHIMIE

(à l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales)

(NOTATION ATOMIQUE)

PAR

**Henri GAUTIER** et **Georges CHARPY**,  
Docteurs ès Sciences, anciens Élèves de l'École Polytechnique.

2<sup>e</sup> édition entièrement refondue.

Un beau volume grand in-8, avec 92 figures; 1894..... 9 fr.

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

## LEÇONS

SUR LES

# APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DE L'ANALYSE

(ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES COURBES ET DES SURFACES),

Par **Louis RAFFY**,

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences,  
Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

1 VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 7 FR. 50 C.

LEÇONS NOUVELLES

## D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par **M. MÉRAY**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

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

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I<sup>re</sup> PARTIE: Principes généraux; 1894..... 13 fr.  
II<sup>e</sup> PARTIE Étude monographique des principales fonctions d'une variable;  
1895..... 14 fr.  
III<sup>e</sup> PARTIE: Questions analytiques classiques; 1897.. 6 fr.  
IV<sup>e</sup> PARTIE: Applications géométriques..... (*Sous presse*)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

# TRAITÉ D'OPTIQUE

Par M. E. MASCART,

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau Central Météorologique.

3 BEAUX VOLUMES, GRAND IN-8, AVEC ATLAS, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : Systèmes optiques. Interférences. Vibration. Diffraction. Polarisation. Double réfraction. Avec 199 figures et 2 planches; 1889..... 20 fr.

TOME II et ATLAS : Propriété des cristaux. Polarisation rotatoire. Réflexion vitrée. Réflexion métallique. Réflexion cristalline. Polarisation chromatique. Avec 113 figures et Atlas contenant 2 belles planches sur cuivre dont une en couleur (Propriété des cristaux. Coloration des cristaux par les interférences); 1891..... 25 fr.

TOME III : Polarisation par diffraction. Propagation de la lumière. Photométrie. Réfractions astronomiques. Un très fort volume avec 83 figures; 1893... 20 fr.

## LEÇONS

# SUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME

Par M. DUHEM,

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

3 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Conducteurs à l'état permanent, avec 112 figures; 1891..... 16 fr.

TOME II : Les aimants et les corps diélectriques, avec 32 figures; 1892. 14 fr.

TOME III : Courants linéaires, avec 71 figures; 1892..... 15 fr.

## LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE

COURS PROFESSÉ A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES  
ET COMPLÉTÉ SUIVANT LE PROGRAMME DE LA LICENCE ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

**J. CHAPPUIS,**

Agrégé Docteur ès Sciences,  
Professeur de Physique générale  
à l'École Centrale.

**A. BERGET,**

Docteur ès Sciences,  
Attaché au Laboratoire des recherches  
physiques à la Sorbonne.

3 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Instruments de mesure. Chaleur. Avec 175 figures; 1891..... 13 fr.

TOME II : Électricité et Magnétisme. Avec 305 figures; 1891..... 13 fr.

TOME III : Acoustique. Optique; Electro-optique. Avec 193 figures; 1892... 10 fr.

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 des 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 REFONDUE

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<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

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

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

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.  
3<sup>e</sup> 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<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.  
2<sup>e</sup> 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<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules; Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule

## LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TOME IV (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3<sup>e</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.

4<sup>e</sup> 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<sup>er</sup> SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

## D<sup>r</sup> H. EBERT,

PROFESSEUR ORDINAIRE DE PHYSIQUE A L'UNIVERSITÉ DE KIEL.

## GUIDE POUR LE SOUFLAGE DU VERRE,

TRADUIT SUR LA DEUXIÈME ÉDITION ET ANNOTÉ

Par P. LUGOL,

Professeur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand,  
Chargé de conférences à la Faculté des Sciences.

Un volume in-18 jésus, avec 63 figures; 1897..... 3 fr.

## LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE  
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par M. Eric GÉRARD,

Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore.

5<sup>e</sup> ÉDITION, REFONDUE ET COMPLÉTÉE.

TOME I : Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, avec 381 figures; 1897..... 12 fr.

TOME II : Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à la télégraphie et à la téléphonie, à l'éclairage et à la métallurgie..... (Sous presse.)

## MESURES ÉLECTRIQUES

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

Par M. Eric 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.-Éd. GUILLAUME,**

Docteur ès Sciences,

Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures.

DEUXIÈME ÉDITION.

UN VOLUME IN-8 DE VIII-150 PAGES, AVEC 22 FIGURES ET 8 PLANCHES ;  
1897..... 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.-Éd. 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.-Éd. 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 150 pages, contient de nombreuses reproductions en photographie de clichés originaux obtenus par MM. J. Chapuis, V. Chabaud, Londe, Imbert et Bertin-Sans, qui ont bien voulu les prêter à l'Auteur.

L'ensemble forme un Volume qui intéressera tous ceux qui aiment à se « rendre compte » de tout de 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. (P. C. N.)

2<sup>e</sup> ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 77 FIGURES; 1895. 5 FR.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS SUPÉRIEUR  
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE

PRÉPARATOIRE AUX CERTIFICATS D'ÉTUDES SUPÉRIEURES ET A LA LICENCE.

Par M. Aimé WITZ,

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

2<sup>e</sup> ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 138 FIGURES; 1897. 10 FR.

PRINCIPES

DE LA

THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES  
ET APPLICATIONS,

PAR

P. APPELL,

Membre de l'Institut, Professeur  
à l'Université de Paris.

E. LACOUR,

Maître de Conférences à l'Université  
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondés 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. Pas-sation 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. (Ferrements 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. Al. GOULLY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. T. P.)..... 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 CÉPAGES, 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 441 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 14 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 350 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 VOLUME 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 (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

## TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

## BLANCHIMENT ET APPRÊTS TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

**Ch.-Er. 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 monobasiques à fonction simple. Acides  
polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides.  
Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métal-  
liques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires.  
Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 fr.

## 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 SÉPARÉMENT. (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 (1<sup>re</sup> PARTIE) : Participation des tiers aux dépenses des travaux publics.  
Adjudications. Fournitures. 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 XI-428 PAGES, AVEC 340 FIGURES; 1896  
(E. T. P.)..... 12 FR.

# 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. Fournier, 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.

## APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE A LA MÉDECINE.

Par le Dr A. BURAIS.

In-4, avec figures et 6 planches, dont 1 en couleurs; 1896..... 4 fr.

## CE QU'IL FAUT SAVOIR POUR RÉUSSIR EN PHOTOGRAPHIE.

Par A. COURRÈGES, Praticien.

2<sup>e</sup> 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<sup>re</sup> 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<sup>e</sup> 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

LA TRIPLICE PHOTOGRAPHIQUE DES COULEURS  
ET L'IMPRIMERIE.

*Système de Photochromographie* LOUIS DUCOS DU HAURON.

Par ALCIDE DUCOS DU HAURON.

In-18 jésus de v-488 pages; 1897..... 6 fr. 50 c.

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<sup>er</sup> 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 lumières, 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.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

**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.

**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 MM. H. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.  
Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 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<sup>re</sup> PARTIE: Notice historique. Virages aux sels d'or..... 2 fr. 75 c.  
II<sup>e</sup> PARTIE: Virages aux divers métaux. Fixages..... 2 fr. 75 c.

**OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE**

SANS DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES,

Par le Dr A. MIETHE.

Traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSREIDTER.

Grand in-8, avec 72 figures et 2 Tableaux; 1896..... 3 fr. 50 c.

**NOTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE.**

TEXTE ET ILLUSTRATIONS

Par M. C. PUYO.

Plaquette de grand luxe, in-4<sup>e</sup> raisin, avec 11 héliogravures de DUJARDIN et 39 phototypogravures dans le texte; 1896..... 10 fr.

Il reste quelques exemplaires numérotés, sur japon, avec planches également sur japon..... 20 fr.

Une planche spécimen est envoyée *franco* sur demande.

**LA LINOTYPIE**

*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.

**TRAITÉ PRATIQUE  
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.**

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 112 figures ..... 5 fr.

*On vend séparément :*

I<sup>re</sup> PARTIE : Obtention des petits clichés ; avec 52 figures ; 1891..... 2 fr. 75 c.

II<sup>e</sup> PARTIE : Agrandissements. 2<sup>e</sup> édition, avec 60 figures ; 1897..... 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 VERFASSER.

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,

Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 40 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.

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<sup>e</sup> édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures ; 1892..... 2 fr. 75 c.

MASSON & C<sup>ie</sup>, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n<sup>o</sup> 48.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Mars 1897)

VIENT DE PARAÎTRE

DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE

DU

# Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**Simon DUPLAY**

Professeur de clinique chirurgicale  
à la Faculté de médecine de Paris  
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu  
Membre de l'Académie de médecine

**Paul RECLUS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine  
Secrétaire général  
de la Société de Chirurgie  
Chirurgien des hôpitaux  
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, DEMOULIN, FORGUE  
GÉRARD-MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON  
LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON  
PEYROT, PONCET, QUÉNU, RICARD, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

*8 vol. grand in-8 avec nombreuses figures dans le texte  
En souscription. . . 150 fr.*

**Au 15 Février 1897, les deux premiers volumes sont en vente**

EXTRAIT DE LA PRÉFACE DES DIRECTEURS

...Notre succès auprès du public médical a été grand, puisque, malgré trois importants tirages, une deuxième édition est devenue nécessaire. Nous avons apporté tous nos soins à cette œuvre nouvelle. Certaines parties que les auteurs, trop pressés par le temps, avaient dû négliger, ont été complètement reprises, et il ne reste plus une ligne du travail primitif. Tous les articles, même les meilleurs, ont été remis au courant de la science. Et, malgré l'étendue de la tâche, ce n'est plus en trente mois, c'est en douze que nous nous engageons à publier nos huit nouveaux volumes...

(Voir ci-contre les conditions de publication et les divisions  
de l'ouvrage.)

LES DIVISIONS  
DE LA **Deuxième édition** DU **Traité de Chirurgie**  
ONT ÉTÉ FIXÉES COMME IL SUIT :

TOME I (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 912 pages, avec 218 figures dans le texte. 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes. BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.	QUÉNU. — Des tumeurs. LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.
---	---

TOME II (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 996 pages, avec 361 figures dans le texte. 18 fr.

LEJARS. — Nerfs. MICHAUX. — Artères. QUÉNU. — Maladies des veines.	RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os. PONCET. — Affections non traumatiques des os.
--	---

**POUR PARAÎTRE EN MAI 1897.**

TOME III

1 vol. grand in-8° avec nombreuses figures dans le texte.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires. QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.	LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires. GÉRARD-MARCHANT. — Crâne. KIRMISSON. — Rachis. S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.
---	---

TOME IV

1 vol. grand in-8° avec nombreuses figures dans le texte.

GÉRARD-MARCHANT. — Nez, fosses nasales, pharynx nasal et sinus.	HEYDENREICH. — Mâchoires. DELENS. — Oeil et annexes.
---	---

~~~~~

Les tomes V et VI, VII et VIII, paraîtront à intervalles rapprochés, de façon que l'ouvrage soit complet au commencement de l'année 1898.

# Dictionnaire usuel des Sciences médicales

PAR MM.

A. DECHAMBRE, Mathias DUVAL, L. LEREBoulLET

Membres de l'Académie de médecine

Ouvrage accompagné de Notions sur la Prophylaxie et sur l'Hygiène  
d'un choix de Formules nouvelles  
et d'un Appendice sur la formation des mots usités en médecine

VIENT DE PARAÎTRE

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8 de xxxii-1782 pages. avec 450 figures dans le texte.  
Relié toile. . . . . 25 fr.

La chirurgie et la pathologie générale ont dû, dans cette troisième édition, recevoir les développements et subir les modifications que le progrès impose; il a fallu, pour la rendre plus précise et plus moderne, la reviser et la compléter encore. C'est ainsi que tous les articles relatifs à l'**Obstétrique** et plusieurs articles de chirurgie ont été refondus. En médecine, les mots **Diphthérie**, **Fièvre typhoïde**, **Sérum** et **Sérothérapie** ont reçu les développements nécessités par de nouvelles découvertes. Plusieurs formules ont été ajoutées. Enfin on a indiqué à l'introduction qui traite de la prophylaxie des maladies infectieuses les modifications que la loi de 1892 impose à l'attention de tous les médecins.

VIENT DE PARAÎTRE

## Traité élémentaire

### de Clinique thérapeutique

Par le **D<sup>r</sup> G. LYON**

Ancien interne des hôpitaux de Paris  
Ancien chef de clinique à la Faculté de médecine

DEUXIÈME ÉDITION, REVUE, AUGMENTÉE

1 volume in-8° de 1154 pages . . . . . 15 fr.

Profitant du réel succès obtenu par cet ouvrage dont la première édition avait été épuisée en moins de deux années, l'auteur a refondu complètement certains chapitres de son livre (celui des dyspepsies chimiques par exemple) et l'a en outre augmenté d'un certain nombre de chapitres nouveaux, tels que ceux relatifs à la diphthérie, à l'entéralgie, à la péritonite tuberculeuse, à l'albuminurie, à l'actinomycose, aux empoisonnements, etc., etc. Les praticiens seront heureux de trouver dans cette seconde édition un important appendice contenant la liste des médicaments les plus usuels avec l'indication de leur mode d'emploi et de leur dosage.

VIENT DE PARAÎTRE

# Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**J. GRANCHER**

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,  
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

**J. COMBY**

Médecin  
de l'hôpital des Enfants-Malades.

**A.-B. MARFAN**

Agrégé,  
Médecin des hôpitaux.

3 volumes grand in-8 en souscription . . . . . 90 fr.

L'ouvrage dont nous commençons aujourd'hui la publication, et qui sera complet en 3 volumes in-8°, vient fort heureusement combler une lacune. Si les manuels de médecine infantile ne manquaient pas, on souffrait de l'absence d'une œuvre de longue haleine embrassant, dans son ensemble, toute la pédiatrie. Cette œuvre, MM. Grancher, Comby et Marfan ont voulu l'entreprendre, encouragés qu'ils étaient par les collaborations précieuses qui s'offraient à eux, tant de la France que de l'étranger.

Les directeurs de cette publication ont pensé qu'on leur saurait gré d'avoir réuni, dans le même ouvrage, toutes les branches de la pathologie infantile : médecine, chirurgie, spécialités ; d'autant plus qu'ils ont fait appel, pour la réalisation de ce plan nouveau, aux maîtres les plus renommés dans ces diverses branches de la pédiatrie. Le lecteur trouvera donc, dans cet ouvrage, des réponses à toutes les questions qui intéressent la pratique médico-chirurgicale des enfants.

Conçu dans cet esprit, exécuté avec une compétence dont le public médical sera juge, le nouveau *Traité des Maladies de l'Enfance* est appelé à rendre les plus grands services aux praticiens.

*Le Traité des Maladies de l'Enfance est publié en cinq volumes qui paraissent à des intervalles rapprochés. Chaque volume est vendu séparément, et le prix en est fixé selon l'étendue des matières.*

*Les tomes I et II sont en vente (Mars 1897). Les autres paraîtront prochainement à intervalles rapprochés.*

*Il est accepté des souscriptions au Traité des Maladies de l'Enfance à un prix à forfait quels que soient l'étendue et le prix de l'ouvrage complet. Ce prix est, quant à présent et jusqu'à la publication, du tome III, fixé à 90 francs.*

**TOME I**

1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

*Préface* (GRANCHER). *Physiologie et hygiène de l'enfance* (COMBY). *Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. Table de posologie infantile* (MARFAN). — MALADIES INFECTIEUSES : *Scarlatine* (MOIZARD). *Rougeole* (COMBY). *Rubéole* (BOULLOCHE). *Variole* (COMBY). *Vaccine et vaccination* (DAUCHEZ). *Varicelle* (COMBY). *Oreillons* (COMBY). *Coqueluche* (COMBY). *Fièvre typhoïde* (MARFAN). *Fièvre éphémère* (COMBY). *Fièvre ganglionnaire* (COMBY). *Grippe* (GILLET). *Suette miliaire* (HONTANG). *Choléra asiatique* (DUFLOCO). *Malaria* (CONCETTI). *Fièvre jaune* (COMBY). *Tétanos* (RENAULT). *Rage* (GILLET). *Erysipèle* (RÉNON). *Infections septiques du fœtus, du nouveau-né et du nourrisson* (FISCHL). *Rhumatisme articulaire et polyarthrites* (MARFAN). *Diphthérie* (SEVESTRE et LOUIS MARTIN). *Syphilis* (GASTOU). *Tuberculose. Scrofule* (AVIRAGNET).

**TOME II**

1 vol. in-8° de 816 pages avec figures dans le texte. . . . 18 fr.

MALADIES GÉNÉRALES DE LA NUTRITION : *Arthrilisme, obésité, maigreur, migraine, asthme* (COMBY). *Diabète sucré* (H. LEROUX). *Maladies du sang* (AUDÉOUD). *Hémophilie* (COMBY). *Hémorragie des nouveau-nés* (DENELIN). *Purpura et syndromes hémorragiques* (MARFAN). *Scorbut infantile* (BARLOW). *Rachitisme* (COMBY et BROCA) *Croissance* (COMBY). *Athrepsie* (THIERCELIN). — MALADIES DU TUBE DIGESTIF : *Développement du tube digestif chez l'enfant* (VARIOT). *Dentition* (MILLON). *Bec-de-lièvre, macroglossie, tumeurs du plancher de la bouche* (BROCA). *Stomatites* (COMBY). *Angines aiguës* (DUPRÉ). *Abcès rétro-pharyngiens et adénite rétro-pharyngienne* (BOKAY). *Hypertrophie des amygdales, pharyngite chronique, végétations adénoïdes* (CUVILLIER). *Polypes nasopharyngiens* (BROCA). *Maladies de l'œsophage, de l'estomac et de l'intestin dans la seconde enfance* (COMBY). *Infections et intoxications digestives chez le nourrisson, gastro-entérites* (LESAGE). *Dysenterie* (SANNÉ). *Tuberculose de l'estomac et des ganglions mésentériques, constipation* (MARFAN). *Vers intestinaux* (FILATOFF). *Invagination* (JALAGUIER). — *Prolapsus du rectum* (BROCA). *Polypes du rectum, corps étrangers des voies digestives, fissures à l'anus* (FÉLIZET et BRANCA). *Malformations ano-rectales, abcès, fistules ano-rectales* (FORGUE).

**TOME III (SOUS PRESSE)**

ABDOMEN ET ANNEXES : ombilic, hernies, foie, rate, reins et organes génitaux. — MALADIES DE L'APPAREIL CIRCULATOIRE. — NEZ, LARYNX : thymus, glande thyroïde.

**TOME IV (EN PRÉPARATION)**

MALADIES DES BRONCHES, DU POU MON, DES PLÈVRES, DU MÉDIASTIN. — MALADIES DU SYSTÈME NERVEUX : méninges, cerveau, moelle, amyotrophies, névroses, paralysies, etc.

**TOME V (EN PRÉPARATION)**

APPAREIL LOCOMOTEUR : os, articulations, etc. — ORGANE DES SENS : yeux, oreilles. — MALADIES DE LA PEAU. — MALADIES DU FŒTUS. Table des matières des cinq volumes.

BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

---

# L'Hygiène du Goutteux

PAR

**A. PROUST**

Membre 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, uno de celles dans lesquelles l'hygiène a été appelée à jouer un rôle prépondérant? L'oubli des règles de la saine alimentation, le surmenago nerveux, l'hérédité en sont les principaux facteurs pathologiques. N'est-il pas démontré qu'il appartient à l'hygiène plus qu'à la thérapeutique de 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'histoire ait pu justifier leurs prétentions révolutionnaires, les auteurs ont pris pour la tradition clinique; l'observation peut seule, en effet, donner une sanction aux hypothèses pathogéniques et aux pratiques thérapeutiques qui dérivent.

---

# L'Hygiène des Asthmatiques

PAR

**E. BRISSAUD**

Professeur 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.

## BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

VIENT DE PARAÎTRE

# L'Hygiène de l'Obèse

PAR

**A. PROUST**Membre de l'Académie de Médecine,  
Médecin de l'Hôtel-Dieu.**A. MATHIEU**Médecin  
de l'hôpital Andral.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-344 pages). 4 fr.

Des diverses maladies de la nutrition, l'obésité est certainement celle dont le traitement est le plus directement du ressort de l'hygiène. La médication ne vient qu'en seconde ligne : il ne suffit pas du reste de devenir maigre plus ou moins rapidement, il faut ne pas engraisser de nouveau et c'est encore à l'hygiène qu'il faut faire appel pour conserver les résultats acquis. — Après des considérations sommaires de pathologie et une étude plus étendue de l'étiologie et de la pathogénie, les auteurs exposent dans tous leurs détails les plus importantes des méthodes hygiéniques conseillées pour le traitement de l'obésité; ils donnent le tableau complet des tentatives faites et des systèmes encore en présence actuellement. MM. Proust et Mathieu donnent ensuite le traitement hygiénique de l'obésité; contrairement à Pfeiffer, ils conseillent la méthode lente et progressive; appropriée à la taille, à l'âge, au tempérament et au sexe. Le volume se termine par un exposé du traitement médicamenteux et thermal de l'obésité, et étudio surtout la médecine thyroïdienne, la dernière venue et la plus intéressante.

VIENT DE PARAÎTRE

# L'Hygiène du Syphilitique

PAR

**H. BOURGES**Ancien interne des hôpitaux et de la clinique dermatologique de la Faculté,  
Préparateur du Laboratoire d'hygiène à la Faculté de Médecine.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-294 pages). 4 fr.

L'hygiène considère à juste titre la syphilis comme un danger public contre lequel il faut toujours se tenir en garde, et elle s'efforce d'y parer par l'application d'importantes mesures de police sanitaire et de prophylaxie générale. Partant de cette idée que l'ignorance du danger syphilitique, des formes sous lesquelles il se présente et des moyens de l'éviter, est un des principaux facteurs de dissémination de la maladie, le professeur Proust a pensé qu'il y aurait quelque utilité à publier un livre dans lequel ces notions seraient mises à la portée de tous, dans un exposé simple et bref, dépouillé de termes techniques. — Ce traité est divisé en trois parties. Dans la première, sont examinées les conditions de propagation et les modes de transmission de la syphilis; la seconde est consacrée à la prophylaxie et à l'hygiène du syphilitique; enfin sont indiquées brièvement, dans la troisième, les mesures de police sanitaire qui sont actuellement opposées à l'envahissement de la syphilis.

## BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

**Hygiène**

et

**Thérapeutique thermales**

PAR

**G. DELFAU**

Ancien interne des Hôpitaux de Paris.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-456 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'Etranger, 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 du Neurasthénique* (P<sup>r</sup> PROUST et D<sup>r</sup> BALLET).*L'Hygiène des Dyspeptiques* (D<sup>r</sup> LINOSSIER).*L'Hygiène du Tuberculeux* (D<sup>r</sup> DAREMBERG).*L'Hygiène des Albuminuriques* (D<sup>r</sup> SPRINGER).*L'Hygiène du Diabétique* (P<sup>r</sup> PROUST et D<sup>r</sup> MATHIEU).*Hygiène thérapeutique des maladies de la peau* (D<sup>r</sup> BROCCO).

VIENT DE PARAÎTRE

# Manuel de Pathologie interne

Par **G. DIEULAFOY**

Professeur de clinique médicale de la Faculté de Médecine de Paris,  
Médecin de l'Hôtel-Dieu, Membre de l'Académie de Médecine.

**DIXIÈME ÉDITION** REVUE ET AUGMENTÉE

4 volumes in-16 diamant, avec figures en noir et en couleurs,  
cartonnés à l'anglaise, tranches rouges, 28 fr.

Par des additions et des refontes partielles, le Manuel de Pathologie interne publié d'abord en deux volumes, puis en trois, forme aujourd'hui quatre volumes. M. Dieulafoy a développé principalement, dans cette dixième édition, les chapitres consacrés à l'Appendicite, à la Diphtérie et à la Fièvre typhoïde. Pour la première fois le lecteur y trouvera quelques planches et figures en noir et en couleurs intercalées dans le texte et se rapportant aux sujets les plus nouveaux traités dans cette édition. Toutes ces figures ont été reproduites d'après les dessins du Dr Bonnier, qui avait déjà sur les mêmes sujets exécuté les schémas qui ont servi au cours du professeur Dieulafoy.

VIENT DE PARAÎTRE

# Précis d'Histologie

PAR

**MATHIAS DUVAL**

Professeur d'histologie à la Faculté de médecine de Paris,  
Membre de l'Académie de médecine de Paris.

**OUVRAGE ACCOMPAGNÉ DE 408 FIGURES DANS LE TEXTE**

1 volume in-8 de xxxii-956 pages. . . . . 18 fr.

On retrouve dans ce volume les qualités qui ont fait le succès de l'enseignement du savant professeur : clarté et précision dans l'exposé des faits; haute portée philosophique dans les vues générales; soin extrême de suivre les progrès de la science, mais en n'acceptant les faits nouveaux qu'à la lumière d'une sévère critique. Des nombreuses figures qui illustrent ce volume, les unes sont empruntées aux maîtres les plus autorisés, les autres, nouvelles, originales, sont pour la plupart des dessins schématiques reproduisant les dessins que M. Mathias Duval a composés pour son enseignement. L'auteur les a dessinés lui-même, et cela ne sera pas un des moindres mérites de cette œuvre magistrale.

VIENT DE PARAÎTRE

# Éléments de Commerce et de Comptabilité

Par **Gabriel FAURE**

Professeur à l'École des Hautes-Études commerciales et à l'École commerciale,  
Expert-comptable au Tribunal de la Seine.

1 volume petit in-8 de 460 pages, cartonné à l'anglaise. . . . . 4 fr.

Exposer avec méthode les questions qui forment la base de tout enseignement commercial, tel est le but de l'auteur. Ce volume renferme le développement complet du programme suivi à l'École des Hautes-Études commerciales en première année. La méthode de M. Faure consiste à faire appel au jugement des élèves plus encore qu'à leur mémoire. Il a cherché à éviter le double écueil d'égarer le débutant dans une foule de détails et de cas particuliers et de laisser subsister dans l'étude des principes généraux une obscurité qui rebute le lecteur. Ce livre est divisé en trois parties : 1° les principales opérations commerciales ; 2° les calculs auxquels ces opérations donnent lieu ; 3° la science qui nous enseigne à les enregistrer. Ce résumé substantiel, présentant l'ensemble des progrès accomplis à l'heure actuelle, s'adresse aussi bien à la jeunesse des écoles spéciales qu'aux personnes désireuses d'acquiescer les notions les plus essentielles sur le commerce et la comptabilité

---

VIENT DE PARAÎTRE

# Cours d'Algèbre

à l'usage des classes  
de mathématiques élémentaires,  
de l'enseignement secondaire  
moderne,

des candidats à l'École de Saint-Cyr et au professorat des Écoles normales

Par **Henri NEVEU**

Agrégé de l'Université, Professeur de mathématiques à l'École Lavoisier.

**DEUXIÈME ÉDITION** CONFORME AUX DERNIERS PROGRAMMES

1 volume in-8 avec figures dans le texte. . . . . 8 fr.

Ce cours d'algèbre est le même que l'auteur professe dans ses classes d'élémentaires ; M. Neveu s'est efforcé de suivre un ordre méthodique et a cherché, en débarrassant certaines questions de ce qu'elles ont d'aride, à mettre le plus de clarté possible dans les démonstrations, tout en maintenant leur rigueur mathématique. Les élèves trouveront à la suite de toutes les théories de nombreux exercices résolus, corrigeant ainsi leur sécheresse et les mettant à même de résoudre toutes les questions qui peuvent leur être proposées aux examens. La deuxième édition que nous publions aujourd'hui est conforme aux nouveaux programmes. La théorie des nombres négatifs est traitée dès le début du cours, et les premiers chapitres ont été modifiés dans ce sens. Les candidats à l'École de Saint-Cyr trouveront dans les leçons complémentaires les questions relatives aux dérivées qui, depuis la première édition, ont été ajoutées aux programmes.

# Traité de Zoologie

PAR

**Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE**FASCICULE IV****VERS ET MOLLUSQUES**

1 vol. gr. in-8 de 792 pages, avec 566 figures. 16 fr.

ONT DÉJÀ PARU :

FASCICULE I : **Zoologie générale.** 412 pages, 458 figures. . . 12 fr.FASCICULE II : **Protozoaires et Phytozoaires.** 452 p., 243 fig. 10 fr.FASCICULE III : **Arthropodes.** 480 pages, 278 figures. . . . . 8 fr.Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol.  
in-8° de 1344 pages, avec 980 figures . . . . . 30 fr.VIENT DE PARAÎTRE*Résultats scientifiques**de la Campagne du "Caudan"*

DANS LE GOLFE DE GASCOGNE (AOUT-SEPTEMBRE 1895)

PAR **R. KOEHLER**

Professeur de Zoologie à la Faculté des sciences de Lyon

FASCICULE I. — 1 vol. in-8° de 272 pages avec figures et 7 planches  
hors texte en noir et en couleurs. . . . . 6 fr.Introduction — Echinodermes — Mollusques — Bryozoaires, avec la collaboration  
de MM. Calvet, Joubin, Locard, Vayssières.FASCICULE II. — 1 vol. in-8° de 164 pages avec figures et 11 planches  
hors texte. . . . . 6 fr.Éponges — Cœlentérés — Acariens — Ascidies simples et composées —  
Pycnogonides — Schizopodes et décapodes — Copépodes, avec la collaboration  
de MM. Canu, Caullery, Roule, Topsent, Trouessart.FASCICULE III. — 1 vol. in-8° de 304 pages avec figures et 21 planches  
hors texte, dont 15 doubles. . . . . 20 fr.Annélides — Poissons — Edriophthalmes — Diatornées — Débris végétaux et  
roches — Liste des espèces recueillies avec la collaboration de MM. Bleicher,  
J. Bonnier, Rasch et Roule.

# 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 teints 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.*

VIENT DE PARAÎTREChimiedes Matières colorantes

PAR

**A. SEYEWETZ**Chef des travaux  
à l'École de chimie industrielle de Lyon**P. SISLEY**

Chimiste-Coloriste

Les auteurs, dans cette importante publication, se sont proposé 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 est, 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 est 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.

**Premier fascicule.** — *Considérations générales. Matières colorantes nitrées. Matières colorantes azoxyques. Matières colorantes azoïques* (1<sup>re</sup> partie), 152 pages. . . . . 6 fr.

**Deuxième fascicule.** — *Matières colorantes azoïques* (2<sup>e</sup> partie). *Matières colorantes hydrazoniques. Matières colorantes nitrosées et quinomes oximes. Oxiquinomes* (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.

**Quatrième fascicule.** — *Matières colorantes dérivées de la quino-  
neimide.* — A. *Indamines et indophénols.* — B. *Thiazines et thiazones.*  
— C. *Oxazines et oxazones.* — D. *Azines;* a) *Eurhodols et eurhodines;*  
b) *Safranines;* c) *Indulines;* d) *Aninoxalines;* e) *Fluorindines.* — *Ma-  
tières colorantes dérivées de l'Indigotine, Oxycétones et Xanthonés,*  
pages 473 à 656. . . . . 6 fr.

## Essai de

---

# Paléontologie philosophique

---

*Ouvrage faisant suite  
aux « Enchaînements du monde animal dans les temps géologiques »*

PAR

**ALBERT GAUDRY**

de 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.

---

## 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.

VIENT DE PARAÎTREPASTEUR

## Histoire d'un Esprit

Par **E. DUCLAUX**Membre de l'Institut de France, Professeur à la Sorbonne,  
Directeur de l'Institut Pasteur.

1 volume in-8 de 400 pages avec 22 figures . . . . . 5 fr.

## EXTRAIT DE LA PRÉFACE DE L'AUTEUR

... C'est moins pour faire un panégyrique que pour en tirer un enseignement que j'ai essayé d'écrire son histoire, dans laquelle je laisse de côté tout ce qui est relatif à l'homme pour ne parler que du savant. J'ai voulu, dans l'ensemble comme dans le détail, faire la genèse de ses découvertes, estimant qu'il n'avait rien à perdre de cette analyse, et que nous avions beaucoup à gagner.

VIENT DE PARAÎTRE

## Loi des Équivalents

## et Théorie nouvelle de la Chimie

Par **Gustave MARQFOY**

1 volume in-8 de xxxii-712 pages.. . . . 7 fr. 50

En considérant les divers éléments du monde physique, l'auteur a été naturellement amené à étudier la matière. Comme synthèse de cette étude, il a acquis la conviction que la matière est une. En faisant, dès lors, sur la loi de la formation des corps, la seule hypothèse qui lui ait paru simple et rationnelle, il a découvert la loi naturelle qui enchaîne les équivalents de la chimie dans une formule arithmétique. Après avoir exposé la loi suivant laquelle tous les corps ont été formés, M. Marqfoy établit la théorie constitutive des corps, basée sur l'hypothèse que la matière est une. La concordance des formules et des lois trouvées par cette théorie avec les expériences de la physique et de la chimie confirment la vérité de l'hypothèse.

VIENT DE PARAÎTRE

## Leçons

DE

# Chimie Biologique

## NORMALE ET PATHOLOGIQUE

PAR

**Armand GAUTIER**

Professeur de chimie à la Faculté de médecine de Paris, Membre de l'Institut,  
Membre de l'Académie de médecine.

DEUXIÈME ÉDITION

Revue et mise au courant des travaux les plus récents  
*Avec 110 figures dans le texte*

Ces leçons complètent le Cours de Chimie de M. le professeur A. GAUTIER.  
Elles sont publiées avec la collaboration

DE

**Maurice ARTHUS**

Professeur de physiologie et de chimie physiologique à l'Université  
de Fribourg (Suisse).

1 volume grand in-8° de 826 pages. . . . . 48 fr.

Quoiqu'il ne se soit écoulé que quatre années depuis la première édition, l'auteur a dû introduire dans son livre de grands changements. Signalons, parmi les chapitres les plus modifiés, ceux relatifs aux principes albuminoïdes, aux nucléo-albumines, aux albumotoxines, aux ferments, aux ptomaines, à la digestion, à la coagulation du sang, à l'origine anaérobie de l'urée, à la vie chimique de la cellule, aux mécanismes des transformations des principes de l'organisme. Voulant faire de cet ouvrage un livre d'étude aussi bien que de laboratoire, M. Gautier s'est décidé, dans cette deuxième édition, à donner la biographie et à citer les sources renvoyant le lecteur, chaque fois qu'il était nécessaire, aux mémoires originaux.

**SONT DÉJÀ PUBLIÉS**

### COURS DE CHIMIE MINÉRALE ET ORGANIQUE

Deuxième édition revue et mise au courant des travaux les plus récents.  
2 volumes in-8°.

**CHIMIE MINÉRALE**

1 volume grand in-8° de 672 pages avec 244 figures dans le texte. 46 fr.

**CHIMIE ORGANIQUE**

1 volume grand in-8° de 736 pages avec 72 figures dans le texte. 46 fr.

---

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 9909.

# 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

PICOU. — Distribution de l'électricité.  
A. GOUILLY. — Air comprimé ou raréfié.  
— Géométrie descriptive (3 vol.).  
DWELSHAUVERS-DERY. — I. Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur. — II. Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur.  
A. MADAMET. — Tiroire et distributeurs de vapeur. — Détente variable de la vapeur. — Épreuves de régulation.  
M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.  
ALHEILIG. — I. Travail des bois. — II. Corderie. — III. Construction et résistance des machines à vapeur.  
ARMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.  
LINDET. — La bière.  
TH. SCHLÆSING fils. — Chimie agricole.  
SAUVAGE. — Moteurs à vapeur.  
LE CHATELIER. — Le grison.  
DEDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.  
CRONEAU. — I. Canon, torpilles et cuirasse. — II. Construction du navire.  
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.  
LECOMTE. — Les textiles végétaux.  
DE LAGNAY. — I. Les gîtes métallifères. — II. Production métallifère.  
BERTIN. — État de la marine de guerre.  
FERMINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.  
BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.  
DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.  
GUILLAUME. — Unités et étalons.  
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.  
MINEL (P.). — Électricité industrielle. (2 vol.). — Électricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
HÉBERT. — Boissons falsifiées.  
NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
SINGAGLIA. — Accidents de chaudières.  
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.

### Section du Biologiste

FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.  
MAGNAN et SÉRIEUX. — Le délire chronique à évolution systématique.  
AUVARD. — I. Séméiologie générale. — II. Menstruation et fécondation.  
G. WEISS. — Electrophysiologie.  
BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).  
Trousseau. — Hygiène de l'œil.  
FÈRE. — Epilepsie.  
LAVERAN. — Paludisme.  
POLIN et LABIT. — Examen des aliments suspects.  
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.  
MEGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.  
DEMELIN. — Anatomie obstétricale.  
CUÉNOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux.  
A. OLIVIER. — L'accouchement normal.  
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.  
CHARRIN. — I. Les poisons de l'urine. — II. Poisons du tube digestif. — III. Poisons des tissus.  
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.  
WEILL-MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.  
LANGLOIS. — Le lait.  
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).  
BROCA. — Le traitement des osté-arthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.  
DE CAZAL ET CATRIN. — Médecine légale militaire.  
LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes externes de l'œil.  
KOEHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- BLOCH. — Eau sous pression.  
DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).  
PRUD'HOMME. — Teinture et impressions.  
SOREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.  
AIMÉ WITZ. — Les moteurs thermiques.  
DE BILLY. — Fabrication de la fonte.  
HENNEBERT (C<sup>1</sup>). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.  
CASPARI. — Chronomètres de marine.  
LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.  
DUDEBOUT et CRONBAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.  
C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.  
H. LÉAUTÉ et A. BERARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
DE LA BAUME PLEUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.  
HATT. — Les marées.  
H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie.  
C<sup>1</sup> VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Projectiles. Fusées.  
LELOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.  
DARIÈS. — Cubature des terrasses et mouvement des terres.  
SIDERSKY. — Polarisation et saccharimétrie.  
NIKWENGLOWSKI. — Applications scientifiques de la photographie.  
ROCQUES (X.). — Analyse des alcools et eaux-de-vie.  
MOESSARD. — Topographie.  
BOURSAULT. — Calcul du temps de pose en photographie.  
SEGUELA. — Les tramways.  
LEFÈVRE (J.). — I. La Spectroscopie. — II. La Spectrométrie. — III. Éclairage électrique. — IV. Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras.  
BARILLOT (E.). — Distillation des bois.  
MOISSAN et OUVRARD. — Le nickel.  
URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.  
LOPPÉ. — Accumulateurs électriques.  
ARIÈS. — Chaleur et énergie.  
FABRY. — Piles électriques.

### Section du Biologiste

- BEAUREGARD. — Le microscope.  
LESAGE. — Le choléra.  
LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.  
CORNEVIN. — Production du lait.  
J. CHATIN. — Anatomie comparée (1 v.).  
CASTEX. — Hygiène de la voix parlée et chantée.  
MAGNAN ET SÉRIEUX. — La paralysie générale.  
MERKLEN. — Maladies du cœur.  
G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.  
OLLIER. — I. La régénération des os et les résections sous-périosteales. — II. Résections des grandes articulations.  
LETULLE. — Pus et suppuration.  
CRITZMAN. — Le cancer.  
ARMAND GAUTHIER. — La chimie de la cellule vivante.  
SÉGLAS. — Le délire des négations.  
STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.  
GREHANT. — Les gaz du sang.  
NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.  
MOUSSOUS. — Maladies congénitales du cœur.  
BERTHAULT. — Les prairies (2 vol.).  
TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.  
LAMY. — Syphilis des centres nerveux.  
RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.  
THOULST. — Océanographie pratique.  
HOUDAILLE. — Météorologie agricole.  
VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.  
HENOCOUR. — Spectroscopie du sang.  
GALIPPE ET BARRÉ. — Le pain (2 v.).  
LE DANTEC. — La matière vivante.  
L'HOTÉ. — Analyse des engrais.  
LARBALÉTRIER. — Les tourteaux. — Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.).  
LE DANTEC ET BERARD. — Les sporozoaires.  
DEMMLER. — Soins à donner aux malades.  
DALLEMAGNE. — Études sur la criminalité (3 vol.).  
BRAULT. — Des artérites.  
RAYAZ. — Reconstitution du vignoble.  
EHLERS. — L'Ergotisme.  
BONNIER. — L'oreille (3 vol.).  
DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.  
LOVERDO. — Le ver à soie.  
DUBREUILH et BELLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.  
KAYSER. — Les levures.