

BIBLIOTHÈQUE PROFESSIONNELLE

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

INSTALLATIONS INDUSTRIELLES



CHOIX DU MATÉRIEL

R. CABAUD

J.B. BAILLIÈRE & FILS

J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

—
PRIX :

10 fr. net.



N-16
R-3

N° 016 = 388 378 / - 164908

BMEC 47





BIBLIOTHÈQUE PROFESSIONNELLE

Installations Électriques Industrielles



Choix du Matériel

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

- Stations centrales, Dynamos, Alternateurs, Transports d'énergie**, par ADR. CURCHOD, 1921, 1 vol. in-18 de 328 pages, avec 114 figures. Cartonné. (*Bibliothèque Professionnelle*)..... 8 fr.
- Installations électriques particulières** (éclairage, chauffage, sonneries et tableaux indicateurs), par P. MAURER, 1922, 1 vol. in-18 de 274 pages, avec 174 fig. Cart. (*Bibliothèque Professionnelle*)..... 8 fr.
- Précis d'Électricité industrielle**, par R. BUSQUET, ancien professeur à l'École centrale de Lyon et E. MAREC, directeur de station centrale d'électricité. 1919, 2 vol. in-8 formant 879 pages, avec 669 figures..... 24 fr.
- Formulaire aide-mémoire de l'électricien praticien**, par E. MAREC, ancien chef de travaux à l'École supérieure d'électricité de Paris, directeur de station centrale d'électricité. 1920, 1 vol. in-18 de 456 pages, avec figures et tableaux..... 12 fr.
- Le Monteur électricien** (Energie électrique. Phénomènes magnétiques. Générateurs. Dynamos. Alternateurs. Installation. Conduite et entretien des machines. Transformateurs. Eclairage électrique. Moteurs. Accidents), par BARNI et MONTPELLIER. 5^e édition, par MAREC, ancien chef de travaux à l'École supérieure d'électricité. 1920, 1 vol. in-16 de 576 pages, avec 350 figures..... 15 fr.
- L'Électricité à la Maison**, par E. MAREC, directeur de station centrale d'électricité. 1918, 1 vol. in-16 de 352 pages, avec 323 figures..... 7 fr. 50
- Précis d'Électricité et de Physique industrielles**, par PÉCHEUX, sous-directeur de l'École des arts et métiers de Lille. 1922, 1 vol. in-18 de 550 pages, avec 396 figures..... 15 fr.
- Dictionnaire d'Électricité**, comprenant les applications aux sciences, aux arts et à l'industrie, par J. LEFÈVRE. Introduction par M. BOUTY, professeur à la Faculté des sciences de Paris. 2^e édition, 1896, 1 vol. gr. in-8 de 1.160 pages à 2 colonnes. avec 1.285 figures..... 30 fr.

Ajouter 10 p. 100 pour port et frais d'emballage

1977 - 1978

BIBLIOTHÈQUE PROFESSIONNELLE
Publiée sous la direction de M. René DHOMMÉE
Inspecteur Général adj^t de l'Enseignement Technique

Installations Électriques Industrielles



Choix du Matériel

PAR

R. CABAUD

Ingénieur-Électricien (E.C.L. et E.S.E.)

Avec 129 figures intercalées dans le texte



PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, rue Hautefeuille, 19

—
1922

PRÉFACE

Tous les ouvriers intelligents, à quelque métier qu'ils appartiennent, peuvent constater chaque jour qu'il leur manque le premier et le plus indispensable des outils, celui qui apprend à manier tous les autres, le seul qui ne soit pas un serviteur inerte, mais au contraire et tout ensemble un maître accompli, un guide éprouvé, un conseiller fidèle et désintéressé. Cet outil, c'est le livre. Vous le cherchez en vain, à l'heure actuelle, chez le maréchal-ferrant, chez le maçon ou le menuisier du village. A la ville même, chez la plupart des petits patrons ou des contremaitres, il est très rare, sinon introuvable.

Cette lourde faute n'est nullement imputable à nos travailleurs, car ils aimeraient à lire et à relire des livres faits pour eux, à leur mesure, et écrits dans leur langue. On n'y a pas songé; non pas évidemment que nous manquions de grands savants ni d'éminents professeurs, mais leurs gros livres sont inabordables et inintelligibles pour les travailleurs manuels. L'ouvrier, l'employé le mieux doué n'est condamné que trop souvent à devenir un manœuvre routinier ou un rouage inconscient: on le confine dans un travail jalousement spécialisé, on lui interdit toute initiative, on tue en lui le goût du travail bien compris, bien vu d'en-

semble, et du même coup on tarit pour lui toute source de profit légitime et rémunérateur.

Il n'y a que deux remèdes, et l'on a trop tardé à les employer: c'est le cours professionnel, et c'est le livre professionnel. D'ailleurs, ils se confondent et se complètent, car le cours est en somme un livre récité et expliqué à haute voix par un maître, et le livre est un cours écrit.

L'enseignement professionnel est en voie d'organisation, mais son installation demandera beaucoup de temps et d'argent. C'est seulement une infime minorité parmi nos travailleurs qui pourra en bénéficier dans les grandes villes. Ses bienfaits ne pourront pas d'ici longtemps parvenir jusqu'au grand peuple des ouvriers déjà vieillis dans le métier et disséminés de tous côtés au fond de nos provinces.

Pour eux, il n'y a qu'un recours: le livre, le livre bien fait, qu'on a toujours sous la main, qui est toujours prêt à répondre, qui a prévu toutes les difficultés et sait les résoudre d'une façon claire, le livre abondamment illustré qui montre le maniement de chaque outil, expose les tours de main, le livre qui joint à un savoir solide le savoir-faire qui est tout aussi indispensable.

C'est ce livre que la Bibliothèque professionnelle offre à tous les travailleurs.

Chacun des 150 volumes qui composent cette Encyclopédie du travail national a été écrit par un spécialiste. Mais ce spécialiste ne s'est pas borné à travailler dans son cabinet et sur les livres: il s'honore d'avoir pratiqué lui-même et pendant de longues années le travail qu'il enseigne maintenant à ses jeunes camarades. Les

ingénieurs, les chefs d'atelier, les professeurs qui ont mis dans ces petits livres le meilleur de leur expérience ont manié les outils dont ils parlent; ils ont eux-mêmes frappé sur l'enclume, charpenté ou menuisé le bois, ajusté des pièces ou conduit des machines. Quels que soient leurs titres, le nom qui leur convient le mieux, c'est encore celui de « maître-ouvrier ».

Avec eux, grâce à eux, et comme eux, tout ouvrier, tout employé peut devenir, lui aussi, un maître dans sa partie. La plus belle récompense des auteurs de la Bibliothèque professionnelle sera justement d'avoir ouvert les portes de la maîtrise à tous ceux qui voudront s'en rendre dignes.

RENÉ DHOMMÉE,

*Inspecteur général adj^t
de l'Enseignement technique*

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES INDUSTRIELLES

Choix du Matériel

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE GÉNÉRALE DES PRINCIPAUX FACTEURS A CONSIDÉRER DANS LE PROBLÈME DU CHOIX D'UNE MACHINE ÉLECTRIQUE

1. *Classification des machines électriques.* —
2. *Fréquence et nombre de phases des machines à courant alternatif.* —
3. *Tension.* —
4. *Couple, puissance, intensité et facteur de puissance.* —
5. *Vitesse.* —
6. *Genre de service, échauffement, mode de refroidissement, mode de protection.* —
7. *Rendement, consommation à vide.* —
8. *Rigidité diélectrique des isolants.* —
9. *Partie mécanique.*

Nous supposons que le lecteur possède un minimum de connaissances relativement aux machines électriques, ce sujet ayant été traité dans un ouvrage de la même collection. Nous rappellerons cependant quelques notions, à cause des rapports qu'elles ont plus directement avec le problème du choix d'une machine.

1. Classification des machines électriques

Au point de vue du but qu'elles ont à remplir, les machines électriques peuvent être classées en 3 catégories:

Génératrices, ou machines destinées à transformer l'énergie mécanique d'un moteur (thermique ou hydraulique) en énergie électrique.

Moteurs, ou machines destinées à transformer l'énergie électrique d'un réseau en énergie mécanique, pour actionner un engin quelconque: machine-outil, appareil de levage, moulin, etc.

Transformateurs ou *convertisseurs*, destinés à transformer l'énergie électrique d'un réseau en énergie électrique, mais sous une autre forme, différant de la première par la tension, la fréquence, la forme du courant.

Au point de vue de la forme du courant, nous distinguerons les machines à *courant alternatif* et les machines à *courant continu*.

Au point de vue de la vitesse, nous distinguerons, pour le courant alternatif, les *machines synchrones* et les machines *asynchrones*, selon qu'il y a ou non une relation constante entre la vitesse de rotation de la machine et la fréquence du courant.

Nous étudierons les machines suivantes:

- Génératrice à courant continu,
- Moteur à courant continu,
- Alternateur synchrone,
- Moteur synchrone,
- Moteur asynchrone,
- Moteur à collecteur à courant alternatif,

Transformateur statique,
Commutatrice,
Groupes moteur-générateur.

Nous laisserons de côté quelques machines rarement employées dans l'industrie, telles que transformateurs de phase ou de fréquence.

2. Fréquence et nombre de phases des machines à courant alternatif

Fréquence. — La fréquence des courants alternatifs tend de plus en plus à être unifiée, du moins en France. Les fréquences 40, 42, 53 employées sur certains réseaux mono ou diphasés disparaîtront en même temps que ces réseaux seront transformés en réseaux triphasés. La fréquence 25 a l'inconvénient, pour la lumière, de produire un scintillement désagréable: seuls l'emploient, un réseau de la région parisienne, d'ailleurs en voie de transformation, et quelques réseaux de province, en particulier du Midi de la France.

C'est la fréquence 50 qui est la plus employée. Elle permet d'obtenir une lumière très régulière, sans cependant que la self-induction des circuits soit augmentée dans des proportions exagérées, comme il se produirait avec les fréquences plus élevées.

Les Américains emploient souvent la fréquence 60.

Nombre de phases. — De même, le nombre de phases des courants alternatifs tend à être unifié, pour l'adoption générale du courant *triphase*; c'est lui qui permet en effet le maxi-

mum d'économie dans les lignes; il n'a pas, comme le monophasé, l'inconvénient d'exiger des artifices compliqués pour le démarrage des moteurs.

Le monophasé garde cependant son emploi en traction, car il n'exige qu'un conducteur au lieu de 2 (les rails constituant le deuxième conducteur).

On sait que les 3 éléments de l'enroulement d'une machine triphasée peuvent être couplés en *étoile* ou en *triangle* (voir la figure 1).

Dans le couplage en triangle, la tension entre fils est égale à la tension entre les extrémités d'une phase de l'enroulement, tandis que l'intensité dans les conducteurs d'alimentation est égale à celle dans les enroulements multipliée par 1,73.

Dans le couplage en étoile, la tension entre fils est égale à la tension entre les extrémités d'une phase de l'enroulement, multipliée par 1,73, tandis que l'intensité dans les conducteurs d'alimentation est égale à celle dans les enroulements.

Si on relie le point neutre d'une génératrice en étoile à un conducteur ou *fil neutre*, ou pourra disposer sur la ligne, entre chacun des fils principaux et le neutre, d'une tension monophasée égale à la tension entre fils, divisée par 1,73. C'est d'un emploi précieux pour les réseaux distribuant en même temps de la force motrice sous 200 volts et de l'éclairage sous 115 volts.

On devra donc toujours, lorsqu'on dit qu'une machine est triphasée, dire si le neutre est *sorti* ou non, c'est-à-dire s'il y a ou non une borne pour un fil neutre.

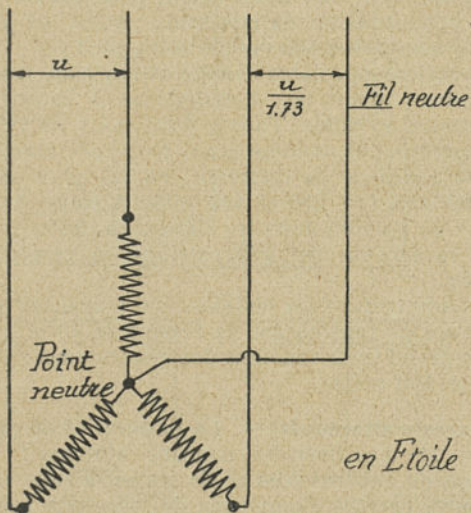
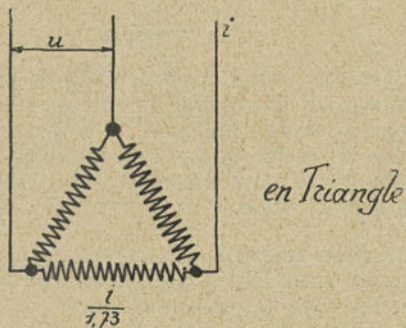


FIG. 1. — Couplage des enroulements des machines triphasées en étoile ou en triangle.

3. Tension

L'emploi des tensions élevées permet de transporter une même puissance avec des intensités de courant plus faibles, donc de réduire la section et par conséquent le poids des conducteurs sans augmenter les pertes d'énergie dans la ligne.

Courants continus. — L'emploi du collecteur dans les machines à courant continu ne permet pas d'utiliser des tensions élevées, car la différence de tension entre lames consécutives du collecteur doit être assez faible, pour permettre une commutation satisfaisante. Aussi ne dépasse-t-on guère 500 ou 600 volts, sauf pour des applications spéciales comme la traction. (Sauf également pour les distributions à intensité constante, système Thury, dont nous ne nous occuperons pas, comme étant trop spéciales.)

Les tensions de distributions les plus courantes sont 115, 230 et 460 volts. A cause de la chute de tension dans les lignes, on devra prévoir la tension des génératrices un peu plus élevée.

On admet dans les installations courantes que la chute de tension est de l'ordre de 10 p. 100, et on prend pour tensions des génératrices: 125, 250 et 500 volts.

Courants alternatifs. — La possibilité de produire et d'utiliser le courant alternatif au moyen de génératrices et de moteurs sans collecteurs permet d'employer des tensions beaucoup plus élevées. En théorie il n'y a pas de limite à la tension d'une machine; en réalité,

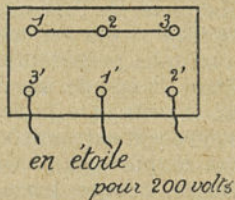
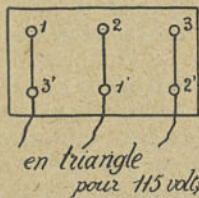
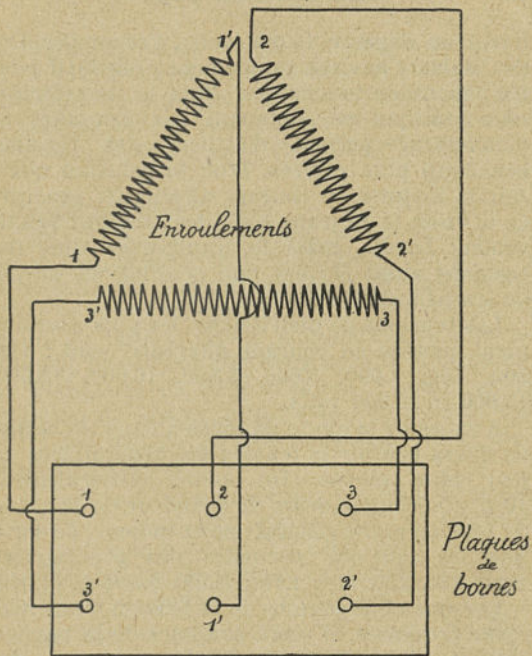


FIG. 2. — Plaque de bornes d'une machine triphasée
115/200 volts.

lorsqu'on dépasse 15.000 volts, l'encombrement des isolants devient rapidement prohibitif pour les machines tournantes. Mais le transformateur statique ne contenant pas d'organes en mouvement permet d'utiliser des tensions beaucoup plus élevées. D'où la solution qui a fait la fortune du courant alternatif: produire et utiliser le courant sous des tensions relativement basses, mais le transporter sous des tensions aussi élevées que possible au moyen de transformateurs.

Les tensions de distribution les plus couramment usitées en courant alternatif sont: 115, 200, 500, 1.000, 3.000, 5.500, 10.000, 13.500, 15.000 et 22.000 volts.

A cause de la chute de tension dans les lignes, on devra prévoir la tension des génératrices un peu plus élevée. On admet généralement 10 p. 100 comme ordre de grandeur de la chute de tension entre génératrice et moteur, de sorte que les tensions normales des génératrices sont: 125, 220, 550, 1.100, 3.500, 6.000 et 11.000.

Lorsque nous parlons de la tension d'une machine triphasée, il s'agit toujours de la tension *entre les bornes*, quel que soit le couplage des phases, et non pas la tension aux extrémités d'une phase de l'enroulement, qui dans le cas du couplage étoile est moindre que celle-ci (voir paragraphe précédent).

Dans le cas de machines construites par séries, il peut être intéressant de ramener à des bornes les 6 extrémités des 3 phases; on pourra ainsi coupler ces phases soit en étoile, soit en triangle, ce qui permettra d'utiliser les machines sous deux tensions différentes, selon les besoins. Ainsi la plupart des constructeurs font

actuellement leurs moteurs triphasés de séries pour 115/200 volts, c'est-à-dire qu'on peut, en couplant les enroulements en triangle, utiliser le moteur sur un réseau à 115 volts, ou, en les couplant en étoile, sous 200 volts (fig. 2).

Régulation de la tension. — Les distributions industrielles sont à tension constante; or les machines génératrices à courant continu ou alternatif ont une tension variable selon la vitesse et selon l'intensité du courant débité; la chute de tension due à la variation de l'intensité est provoquée par deux causes différentes: la résistance de l'enroulement d'induit et la réaction du champ magnétique de l'induit sur celui des inducteurs (réactions ohmique et magnétique d'induit).

Il convient donc de définir les limites de ces variations pour une génératrice déterminée, afin qu'il soit possible d'utiliser cette machine sans variations de tension exagérées sur le réseau. C'est la notion de *régulation*.

Par rapport à la vitesse, on définit la régulation par la *variation cinétique de tension*. C'est le rapport d'une variation de tension à la variation de vitesse qui l'a provoquée, ces deux variations étant exprimées en pour cent de la vitesse et de la tension normales.

Par exemple, soit une dynamo donnant 250 volts à 1.000 tours. Si on laisse constante la charge et qu'on ne touche pas au rhéostat d'excitation, mais qu'on amène la vitesse à 1.020 tours, soit une augmentation de 2 p. 100, la tension nouvelle va être par exemple 265 volts.

L'augmentation de tension est alors de

$$\frac{265 - 250}{250} = 6 \text{ p. } 100$$

La variation cinétique de tension est de 3.

$$\frac{\text{Variation de tension}}{\text{Variation de vitesse}} = \frac{6 \text{ p. } 100}{2 \text{ p. } 100} = 3$$

Cette notion est utile dans le cas de la commande d'une dynamo par moteur thermique ou hydraulique, muni d'un régulateur de vitesse dont on connaît le degré de sensibilité; on connaît alors le taux possible des variations de tension dues à l'imperfection du régulateur.

Par rapport à l'intensité, on définit selon le cas la régulation par *la chute* ou *l'élévation relative de tension* (fig. 3 et 4).

Pour les machines auto-excitatrices (dynamos shunt ou compound, par exemple), on définit la *chute relative de tension*. On suppose que la machine a été réglée à vide pour la tension normale, puis que, sans toucher à l'excitation, on lui fasse débiter sa charge normale; la chute relative de tension est le rapport de la différence entre la tension normale à vide et la tension en charge, à la tension normale à vide,

$$\text{soit : } \frac{U_{\text{normal à vide}} - U_{\text{en charge}}}{U_{\text{normal à vide}}}$$

Pour des machines non auto-excitatrices, par exemple les alternateurs, on définit comme suit *l'élévation relative de tension*: on suppose que la machine a été réglée en charge pour la tension normale, puis que, sans toucher à l'excitation, on la décharge brusquement; l'élévation

relative de tension est le rapport de la diffé-

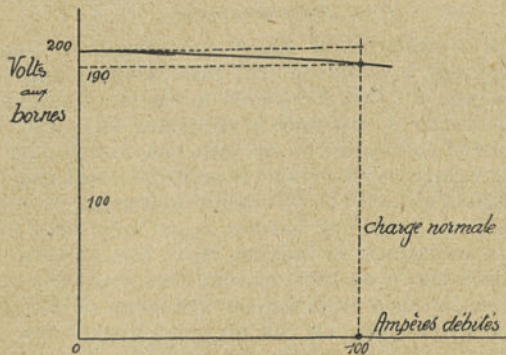


FIG. 3. — Génératrice à faible variation de tension; diagramme de la tension en fonction de la charge.

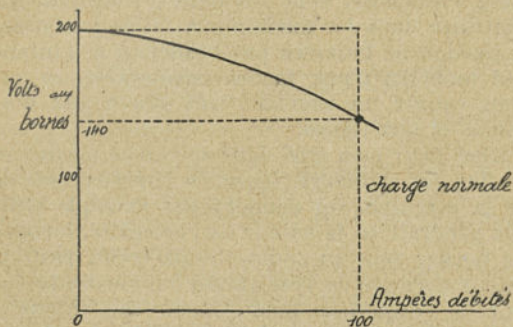


FIG. 4. — Génératrice à forte variation de tension; diagramme de la tension en fonction de la charge.

rence entre la tension à vide et la tension normale en charge, à la tension normale en charge,

$$\text{soit : } \frac{U_{\text{à vide}} - U_{\text{normal en charge}}}{U_{\text{normal en charge}}}$$

Il semblerait a priori qu'on ait toujours avantage à avoir de très faibles variations de tension. En fait, c'est bien le cas des machines génératrices destinées à alimenter le réseau de petites usines, où on ne veut pas s'astreindre à un réglage très soigneux et continu, ou lorsqu'il s'agit d'alimenter un réseau contenant surtout de l'éclairage, les lampes étant très sensibles aux variations de tension. Mais, une machine à faible chute de tension sera très coûteuse, car il va falloir y immobiliser beaucoup de cuivre.

D'autre part, en cas de court-circuit ou de surintensité anormale sur la ligne, la tension d'une machine à forte variation de tension baissera rapidement et limitera automatiquement l'intensité, donc les dégâts possibles. Au contraire dans les machines à faible variation, la tension ne baissera pas beaucoup et l'intensité montera d'une façon considérable, ce qui peut causer un accident très grave aux machines et aux lignes.

C'est pour cela que, dans certaines machines, on fixe les *caractéristiques en court-circuit* de la machine. On donnera par exemple pour une génératrice la valeur de l'intensité, lorsque les bornes sont en court-circuit franc, pour la valeur normale de l'excitation (ou encore la valeur de l'excitation pour obtenir une intensité de court-circuit égale à l'intensité normale, ce qui revient au même, l'intensité en court-circuit étant sensiblement proportionnelle au courant d'excitation). On pourra, par exemple, imposer au constructeur que le courant de

court-circuit ne soit pas plus de 5 fois le courant normal (fig. 5).

Les données ci-dessus nous permettent de nous rendre compte de la valeur des variations de tension entre la marche à vide et la marche en charge; si nous tenons compte également de la variation cinétique, nous pouvons déterminer l'écart *maximum de tension* d'un groupe électrogène.

Soit par exemple un alternateur commandé

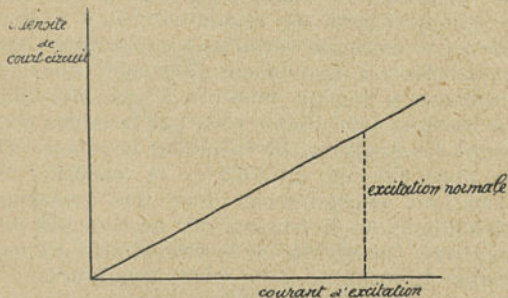


FIG. 5. — Diagramme de court-circuit d'une génératrice.

par une turbine dont le régulateur règle la vitesse à 2 p. 100 près. Soit 3 la variation cinétique de tension. Soit 10 p. 100 l'élévation relative de tension.

Si nous supposons l'alternateur réglé pour la pleine charge, et brusquement déchargé, la tension va augmenter de 10 p. 100 par suite de la diminution de l'intensité; mais la vitesse a pu varier de 2 p. 100, ce qui aura causé une variation de tension de

$$2 \times 3 = 6 \text{ p. } 100$$

Soit une variation totale de 16 p. 100, en supposant que les 2 effets sont simultanés.

En réalité, avec un tel alternateur, si on ne veut pas régler à chaque instant l'excitation, on pourra trouver un réglage intermédiaire, inférieur à celui correspondant à la tension normale pour la pleine charge, mais pour lequel la tension se maintiendra constante à 8 p. 100 près en plus ou en moins.

Remarquons que nous avons admis que toutes les variations de vitesse du groupe provenaient de l'imperfection du régulateur; il y a aussi une autre cause de variations importantes dans les machines à mouvement alternatif, telles que machines à vapeur, moteurs à gaz, etc. Dans ces machines, la vitesse n'est pas la même pour toutes les positions de la bielle; la vitesse varie donc pendant un tour de la machine; ces variations engendreront donc des variations périodiques de la tension, qui ne sera pas très régulière. On régularise le mouvement en munissant la machine d'un volant très lourd.

On appelle *coefficient d'irrégularité* du moteur muni de son volant, le rapport de la différence entre la vitesse maxima et la vitesse minima pendant un tour, à la vitesse moyenne.

$$\frac{N_{\text{maxima}} - N_{\text{minima}}}{N_{\text{moyen}}}$$

Cette notion a une certaine importance pour la régularité de la tension; nous verrons plus loin qu'elle a une importance encore plus grande pour les alternateurs devant être couplés en parallèle.

4 Couple, puissance, intensité et facteur de puissance

Notion de couple et de puissance. — Rappelons en quelques mots ces notions fondamentales sur lesquelles il faut avoir des idées très nettes.

Le *travail* est le produit d'une force par le

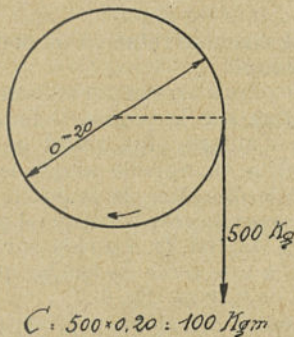


FIG. 6. — Notion de couple.

déplacement du point d'application de cette force suivant la direction de cette force : un poids de 1 kg. tombant de 1 mètre de hauteur produit un travail de 1 kilogrammètre.

L'*énergie* est le produit du travail par le temps pendant lequel il se manifeste.

La *puissance* est l'énergie pendant 1 seconde.

Les unités de puissance sont :

Le kilogrammètre/seconde : puissance de la machine qui produit un travail de 1 kilogrammètre pendant 1 seconde;

Le cheval-vapeur, qui vaut 75 kilogrammètres-seconde;

Le kilowatt, qui vaut 1,36 cheval ou 102 kgm./s.

Les unités d'énergie sont :

Le cheval-heure, énergie correspondant à un travail de 75 kgm. pendant 1 heure;

Le kilowatt-heure, qui vaut 1,36 cheval-heure.

Dans une machine rotative, on doit aussi considérer le *couple*.

Si nous voulons arrêter un moteur en produisant un effort sur la poulie, il faudra que cet effort soit d'autant plus grand que la poulie est plus petite. On appelle couple le produit de l'effort par le diamètre de la poulie. Un couple de 100 kilogrammètres correspond par exemple à une force de 100 kg. exercée sur une poulie de 1 m., ou à une force de 500 kg. produite sur une poulie de 0,20 m. (fig. 6).

La puissance est alors le produit du couple par la vitesse angulaire.

$$\text{Puissance} = \text{couple} \times \text{vitesse angulaire}$$

Mais nous verrons que la vitesse angulaire est égale à

$$\text{Vitesse en tours par minute} \times \frac{2 \times 3,14}{60}$$

Donc

$$\text{Puissance en kgm./s.} = \text{vitesse en t./m.}$$

$$\times \text{couple en kgm.} \times \frac{2 \times 3,14}{60}$$

Dans un moteur une puissance peut être réalisée avec un fort couple et une faible vitesse

ou avec une grande vitesse et un couple faible.

Ce qui est intéressant à connaître, c'est le *couple maximum* que le moteur pourra produire sans caler.

Le couple d'un moteur est dit couple moteur; le couple à appliquer à une machine réceptrice pour la faire tourner est dit *couple résistant*.

La vitesse est constante, lorsque le couple moteur est égal au couple résistant.

Ces notions étant rappelées, étudions les différentes espèces de puissance à considérer dans les machines électriques.

Dans une *génératrice*, on distingue:

La puissance mécanique fournie sur l'arbre de la machine;

La puissance électrique recueillie aux bornes.

La première est plus grande que la seconde, puisqu'elle comprend aussi les pertes intérieures de la machine.

Dans un *moteur*, on distingue :

La puissance électrique fournie aux bornes;

La puissance mécanique recueillie sur l'arbre.

La première est plus grande que la seconde puisqu'elle comprend les pertes intérieures.

Dans un *transformateur* ou un *convertisseur*, on distingue :

La puissance électrique fournie aux bornes primaires;

La puissance électrique recueillie aux bornes secondaires.

La première est plus grande que la seconde puisqu'elle comprend les pertes.

La puissance tant électrique que mécanique doit en électricité être mesurée en *kilowatts*; en pratique on exprime le plus souvent les

puissances mécaniques en chevaux-vapeur. Cette pratique est condamnable, car on a constamment à comparer des puissances mécaniques à des puissances électriques, et il est beaucoup plus commode d'avoir une même unité. Nous ne saurions donc trop engager le lecteur à utiliser constamment le kilowatt; c'est une habitude à prendre et à faire prendre autour de soi. En tous cas rappelons que

1 kilowatt vaut 1,36 chevaux-vapeur;

1 cheval-vapeur vaut 0,736 kilowatt.

Une machine se désigne par la puissance qu'elle fournit, et non pas par celle qu'elle absorbe. Ainsi un moteur de 10 kilowatts (13,6 chev.) est un moteur capable de fournir une puissance mécanique de 10 kw. sur l'arbre. Une dynamo de 200 kw. est une dynamo capable de fournir à ses bornes une puissance électrique de 200 kw.

Calcul de la puissance électrique en courant continu. — La puissance en watts est égale au produit des volts par les ampères. Pour avoir des kilowatts, il faut diviser les watts par 1.000. Par exemple, une dynamo fournissant 100 ampères sous une tension de 250 volts est une dynamo de

$$100 \times 250 = 25.000 \text{ watts ou } 25 \text{ kw.}$$

Connaissant deux quelconques de ces 3 données: tension, intensité et puissance, on pourra donc en déduire la troisième.

Calcul de la puissance électrique en courant alternatif. — En courant alternatif, c'est plus compliqué.

Si dans un circuit où se développent des champs magnétiques puissants, un moteur par exemple, nous mesurons les différentes puissances qui se manifestent : puissance mécanique sur l'arbre, puissance perdue par échauffement dans les circuits, pertes de toutes sortes, et que nous mesurons d'autre part les volts et les ampères, nous constatons que le produit des volts par les ampères est notablement plus

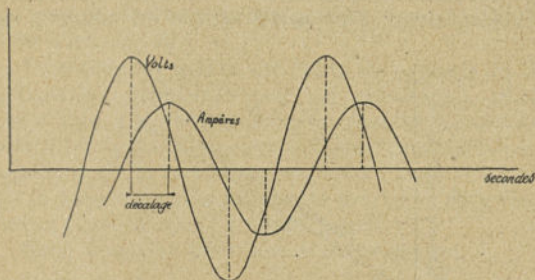


FIG. 7. — Décalage de l'intensité sur la tension dans un circuit à courant alternatif renfermant une réactance.

grand que la somme de toutes les puissances mesurées.

D'autre part, si nous faisons au moyen d'un oscillographe (appareil enregistreur qui peut suivre toutes les variations du courant) le tracé des courbes de tension et d'intensité, nous trouvons des sinusoïdes, comme il était à prévoir, mais les maxima n'ont pas lieu en même temps; l'intensité semble être en retard sur la tension (fig. 7).

Si nous répétons la même expérience non

plus avec un moteur, mais avec une résistance ne contenant pas de fer, par exemple un rhéostat ou des lampes, nous constatons au contraire que la puissance est sensiblement égale au produit des volts par les ampères, et d'autre part que l'intensité n'est pas décalée sur la tension.

Le phénomène de décalage semble donc lié à la production d'un *champ magnétique* alternatif. On admet que l'intensité du courant que nous mesurons est la résultante de deux intensités élémentaires: l'*intensité wattée* ou courant en

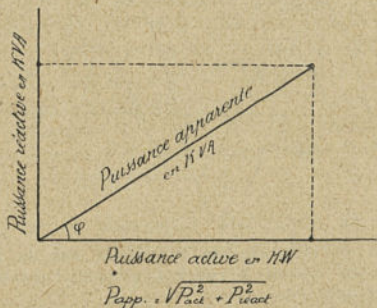


FIG. 8. — Composition des puissances active, réactive et apparente

phase, qui se manifeste en même temps que la tension, qui produit de la puissance, sous forme de puissance mécanique, de chaleur, etc. et l'*intensité déwattée* ou courant déphasé, qui a son maximum lorsque la tension a son minimum, et dont le rôle est de produire le champ magnétique.

On pourra alors décomposer le produit des

volts par les ampères en deux quantités : la *puissance active* égale au produit des volts par les ampères wattés, puissance correspondant à du travail mécanique, et la *puissance réactive* égale au produit des volts par les ampères déwattés. On appellera alors le produit des volts par les ampères *puissance apparente*. On mesure cette quantité en voltampères ou en *kilovoltampères*.

Le carré de la puissance apparente est égal à la somme des carrés des puissances actives et réactives (fig. 8).

La puissance active est égale au produit de la puissance apparente par un coefficient plus petit que 1, que l'on nomme *facteur de puissance* ou cosinus φ ; ce coefficient caractérise la machine ou le circuit considéré au point de vue de la proportion de puissance active et de puissance réactive qui s'y manifestent.

On a donc les formules fondamentales

$$P_{\text{app.}} = \sqrt{P_{\text{act.}}^2 + P_{\text{réact.}}^2}$$

$$P_{\text{act.}} = P_{\text{app.}} \times \cos \varphi$$

Certains appareils, par exemple les condensateurs statiques, les moteurs synchrones surexcités, compensent de la puissance réactive, en produisant un décalage de l'intensité *en avant* de la tension. Il est donc tout indiqué d'employer ces appareils dans les réseaux dont le facteur de puissance est trop bas, réseaux particulièrement désavantagés comme nous le verrons plus loin.

Pour la désignation d'une génératrice on emploiera la *puissance apparente* avec indication

du *facteur de puissance*; par cela même la puissance active est déterminée, mais c'est la puissance apparente, dont la notion est primordiale, puisque la puissance de la machine est limitée avant tout par son échauffement, c'est-à-dire par l'intensité qui y circule.

Nous avons parlé plus haut de produit des volts par les ampères pour la puissance apparente; c'est vrai en monophasé, mais en triphasé, il faut multiplier par le facteur 1,73 pour avoir la puissance sur les 3 phases.

$$P_{app} = \frac{1,73}{1.000} \times \text{volts} \times \text{ampères (kva.)}$$

Donnons quelques exemples :

1° Nous lisons sur le tableau de distribution triphasé d'une usine :

Ampèremètre:	1.000 amp.
Voltmètre:	220 volts
Wattmètre:	200 kw.

La puissance apparente est

$$220 \times 1.000 \times 1,73 = 380 \text{ kva.}$$

Le facteur de puissance est

$$\frac{200}{380} = 0,53$$

Il faudra pour alimenter ce réseau un alternateur capable de fournir 380 KVA sous un facteur de puissance de 0,53.

Si le facteur de puissance avait été de 0,80, pour la même puissance active du réseau, on aurait eu

$$\text{puissance apparente} = \frac{200}{0,80} = 250 \text{ kva.}$$

L'intensité au lieu de 1.000 ampères aurait été :

$$\frac{250 \times 1.000}{220 \times 1,73} = 660 \text{ ampères}$$

L'alternateur nécessaire aurait été bien moins puissant, soit de

$$250 \text{ kva. sous } \cos \varphi = 0,80$$

2° Quelle est l'intensité absorbée par un moteur triphasé de 10 kw. à 200 volts (13,6 chevaux), ayant un rendement de 80 p. 100 et un facteur de puissance de 0,82 ?

$$\text{Puissance aux bornes} = \frac{10}{0,80} = 12,5 \text{ kw.}$$

$$\text{Puissance apparente} = \frac{12,5}{0,82} = 15,2 \text{ kva.}$$

$$\text{Intensité du courant} = \frac{15,2 \times 1.000}{200 \times 1,73} = 44 \text{ amp.}$$

Remarquons que lorsque nous parlons de l'intensité du courant dans une machine, il s'agit de l'intensité dans les conducteurs d'alimentation, quel que soit le couplage. Si le cou-

plage était en triangle, cette intensité ne serait pas égale à l'intensité dans les enroulements.

5. Vitesses

La vitesse d'une machine est toujours exprimée en tours par minute.

Dans les calculs théoriques on se sert souvent de la *vitesse angulaire*: c'est l'espace parcouru en une seconde par un point situé sur un cercle de rayon égal à 1.

Vitesse angulaire = vitesse en tours/minute

$$\times \frac{2 \times 3,14}{60}$$

Vitesse en tours/minute = vitesse angulaire

$$\times \frac{60}{2 \times 3,14}$$

La vitesse des machines électriques varie dans de grandes proportions, suivant l'usage que l'on veut en faire.

Dans le cas de la commande par *accouplement direct*, la vitesse est strictement déterminée par la vitesse de la machine accouplée: c'est le cas de la commande des génératrices par des moteurs à grande vitesse, tels que turbines à vapeur, celui de la commande par des moteurs de machines rapides, tels que pompes centrifuges.

Lorsque l'engin mécanique à accoupler est à faible vitesse, la disposition de l'accouplement direct conduirait à des machines électriques encombrantes et par conséquent coûteuses. On

préfère alors une commande indirecte, telle que la commande *par courroie*. La vitesse est alors moins strictement déterminée, puisqu'on peut choisir le rapport des diamètres des poulies. On pourra donc déterminer entre plusieurs vitesses possibles de la machine électrique quelle est la plus avantageuse.

Il faudra se guider sur les considérations suivantes : les machines à grande vitesse sont *peu encombrantes*, et par là peu coûteuses; cependant s'il s'agit de puissances importantes, il y a une limite, car dans une grosse machine à grande vitesse, il se développe des efforts très violents par force centrifuge, et il faut une construction spéciale, comme dans les machines commandées par des turbines à vapeur. Cette construction peut être assez coûteuse.

D'une façon générale, pour chaque puissance, il y a une vitesse qui correspond aux plus grandes facilités de construction. Les *séries normales* des constructeurs donnent à ce point de vue des indications précieuses, et on aura toujours avantage à s'en rapprocher.

Au point de vue de l'utilisation, la plupart des engins et outils mécaniques étant à vitesse relativement faible, on aura avantage pour ne pas avoir une *démultiplication* trop grande, à choisir des machines lentes.

Elles ont d'ailleurs une plus grande robustesse. Mais les rendements des machines lentes sont généralement plus faibles que ceux des machines rapides.

Exemples de choix de vitesses. — 1° Commande d'une machine-outil tournant à 200 tours et absorbant 10 chevaux.

Les moteurs de 10 chevaux ont généralement des vitesses de 1.000 à 1.500 tours. On choisira par exemple un moteur de 10 chevaux à 1.000 tours, soit une démultiplication de 5, ce qui est raisonnable.

$$\frac{1000}{200} = 5$$

2° Commande d'une pompe centrifuge 2 chevaux à 3.000 tours.

Des moteurs de faible puissance à 3.000 tours sont courants; on prendra donc l'accouplement direct.

3° Commande d'une dynamo par une machine à vapeur à 90 tours/minute.

Les machines électriques ne peuvent guère être construites pour des vitesses si faibles, l'accouplement direct ne peut être employé. On prendra une commande par courroie avec une démultiplication de l'ordre de 5, soit une dynamo à 450 tours.

Vitesses en courant alternatif. — Les machines *synchrones* ont une vitesse liée par une relation constante à la fréquence et au nombre de pôles.

Cette relation est la suivante : vitesse en tours/min. = $60 \times \frac{\text{fréquence}}{\text{nombre de paires de pôles.}}$

Par exemple pour la fréquence 50, les vitesses sont :

2 pôles.....	3.000 tours par minute	
4 —	1.500	—
6 —	1.000	—

8 pôles.....	750 tours par minute	
10 —	600	—
12 —	500	—
14 —	428	—
16 —	375	—
18 —	333	—
20 —	300	—

etc., etc.

Les machines *asynchrones* ont une vitesse légèrement inférieure à la vitesse synchrone correspondant à leur nombre de pôles.

On appelle *glissement* le rapport de la différence entre la vitesse synchrone et la vitesse réelle, à la vitesse synchrone.

$$\frac{N_{\text{synchrone}} - N_{\text{réel}}}{N_{\text{synchrone}}} = \text{glissement en pour cent}$$

Les glissements étant généralement assez faibles, on voit qu'en courant alternatif, on ne pourra pas, comme en courant continu, construire des machines pour des vitesses quelconques, mais qu'on aura le choix entre les différents termes d'une échelle assez étendue.

Dans le cas de l'accouplement direct, il faudra donc en tenir compte pour le choix des machines à accoupler.

Régulation de vitesse. — Cette notion n'a de sens que pour les moteurs. On la définit par la *chute relative de vitesse*, qui est le rapport de la différence entre la vitesse à vide et la vitesse en charge, à la vitesse à vide.

$$\frac{N_{\text{vide}} - N_{\text{en charge}}}{N_{\text{vide}}}$$

Pour les moteurs synchrones, la chute de vitesse est nulle par définition.

Généralement on cherche à réaliser des chutes de vitesse aussi faibles que possible. Cependant il est certain cas où on recherche au contraire une chute de vitesse élevée : c'est le cas de la commande des machines à coups de collier, par exemple les laminoirs où la vitesse doit baisser lorsque le couple résistant augmente, afin de rendre la puissance prise au réseau aussi constante que possible.

Moteurs à vitesse variable. — Dans certains moteurs, on doit pouvoir régler la vitesse à volonté entre deux limites, d'une façon continue, ou bien on doit avoir un certain nombre de vitesses qu'on peut obtenir au choix.

Un tel moteur est défini par les différentes vitesses que l'on peut obtenir, ou bien par les limites entre lesquelles la vitesse doit pouvoir varier. Il est alors indispensable de fixer quelles sont les *puissances* correspondant aux différentes vitesses, car ces puissances sont généralement différentes.

On dira par exemple : un moteur de 4 chevaux à 800 tours/minute, et de 10 chevaux à 1.600 tours/minute; si les deux vitesses à obtenir sont 800 et 1.600 tours/minute, les vitesses intermédiaires n'étant pas utilisées.

Si au contraire la vitesse doit varier d'une façon continue de 800 à 1.600 tours/minute, on dira un moteur de 4 chevaux, 800 tours/minute à 10 chevaux, 1.600 tours/minute.

6. Genre de service — Echauffement — Mode de refroidissement — Mode de protection

Les pertes des machines électriques se manifestant sous forme de dégagement de chaleur, il y a lieu de prévoir leur construction pour que le refroidissement se fasse d'une façon suffisante, et de fixer leur puissance maxima de façon qu'elle corresponde à un fonctionnement non dangereux pour la durée des isolants.

Service. — On dit que la puissance d'une machine est donnée pour un service *continu*, lorsque cette machine peut supporter indéfiniment le régime correspondant à cette puissance, sans échauffement anormal, ni détérioration.

Au contraire, la puissance donnée pour une machine correspond à un service *discontinu*, ou intermittent, lorsque la machine ne peut supporter le régime correspondant à cette puissance que pendant un temps limité : le service est défini par ce temps. On dira par exemple : une machine pour 10 kw., service de 1 heure. Une machine peut aussi être définie à la fois par sa puissance en service continu et par sa puissance en service discontinu. On dira par exemple que la puissance d'un moteur est :

10 kw. service continu.

14 kw. service 1 heure.

Pour les génératrices, il est assez rare qu'on puisse les prévoir pour service discontinu, car en général elles alimentent un grand nombre de machines de régimes différents, dont le fonctionnement simultané peut se prolonger.

Au contraire, beaucoup de moteurs, par la nature même de la machine qu'ils actionnent, fonctionnent forcément en service intermittent : c'est le cas de nombreux appareils de levage. Il sera donc intéressant, au point de vue économique, de prendre des moteurs à régime discontinu.

Il est assez souvent difficile de déterminer quel est le régime discontinu exprimé en

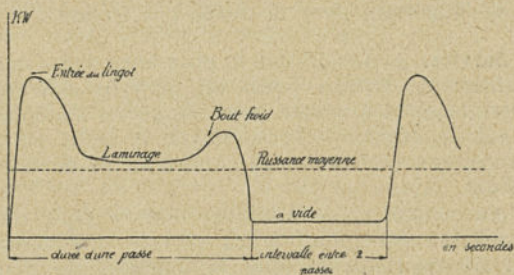


FIG. 9. — Diagramme des puissances absorbées à chaque instant par un laminoir.

heures, qui correspond au service d'une machine. Il sera bon alors de fournir au constructeur un diagramme donnant les puissances à produire en fonction des temps, tel que celui que nous reproduisons ci-contre (fig. 9).

Echauffement. — Il est indispensable de fixer par des règles précises quel est l'échauffement considéré comme admissible dans les machines. Sans cela, en effet, il y aurait matière à des discussions interminables entre clients et fournisseurs.

D'après les nouveaux règlements de l'Union

des syndicats de l'Electricité, il convient de ne pas dépasser les échauffements suivants, au-dessus de la température ambiante (celle-ci étant de 40° au plus) :

Coton non imprégné.....	40°
Coton imprégné ou immergé dans l'huile	55°
Enroulements imprégnés, massifs, logés dans des rainures.....	55°
Mica, amiante, verre, porcelaine, etc..	75°
Enroulements en court-circuit permanent, isolés.....	60°
Enroulements en court-circuit permanent, non isolés.....	70°
Collecteurs, bagues.....	50°
Paliers	40°
Inducteurs en barres, en une seule couche, et enroulements massifs immobiles : un excès de 5° est admis.	
Noyaux de tôle sans enroulements...	70°
Noyaux de fer avec enroulements : comme pour les enroulements.	

En outre, la *Chambre syndicale des Constructeurs de gros matériel électrique* admet 55° pour le fil émaillé, et 50° pour l'huile; elle tolère un excès de 5° pour les transformateurs à circulation d'eau.

Modes de refroidissement. — Le refroidissement des machines peut être *naturel*, lorsqu'aucun dispositif spécial n'a été prévu, ou *artificiel*, lorsqu'un dispositif spécial de circulation d'air, d'eau ou d'huile est organisé de façon à emporter les calories dégagées.

Dans les machines courantes, le refroidissement est naturel; dans les machines demi-fermées ou fermées, le refroidissement est le plus souvent activé par une circulation d'air : la machine est auto-ventilée si le ventilateur fait corps avec elle, à ventilation séparée dans le cas contraire.

L'inconvénient de l'air considéré comme agent de refroidissement est sa faible capacité calorifique : il faut en faire circuler un volume considérable pour emporter un nombre peu important de calories. Aussi, dans les machines très puissantes que l'on construit actuellement (gros turbos), a-t-on une tendance à employer une circulation d'eau à travers la carcasse.

Les paliers des machines puissantes sont généralement refroidis par une circulation d'huile, huile qui peut elle-même être refroidie par circulation d'eau.

Les transformateurs de puissances importantes sont généralement à enroulements noyés dans l'huile: cette huile sert à la fois à faciliter l'isolation et à répartir la chaleur dans une masse plus considérable, qui se refroidit par les parois de la cuve. A partir d'une certaine puissance, ce n'est plus suffisant, et il faut, pour une construction économique, refroidir cette huile par circulation d'eau ou d'air.

Mode de protection. — Une machine est exposée plus ou moins aux intempéries selon son emplacement, aux contacts accidentels avec le personnel, qui circule autour, et surtout aux poussières, limailles, etc., qui peuvent détériorer les enroulements. On peut y remédier par un mode spécial de protection.

Une machine *ouverte* n'a aucun dispositif de protection particulier.

Une machine *semi-protégée* ou *protégée* a ses flasques disposées de façon à garantir ses enroulements, sans que l'air de circulation soit empêché de circuler.

Une machine *semi-fermée* n'a comme orifices pour le passage de l'air que des ouvertures pourvues de grillages ou de chicanes.

Une machine *fermée* est sans ouvertures autres que les joints des pièces mécaniques; la ventilation sera donc insignifiante.

Enfin on distingue aussi les types : *abrité*, *résistant à l'humidité*, *submersible*, *antidéflagrant*.

Il est évident que l'emploi de machines semi-fermées ou fermées conduit à des carcasses de grand volume, à moins que l'on n'emploie un dispositif spécial de ventilation. D'une façon ou de l'autre, le rendement est fortement diminué. On n'emploiera donc ces dispositifs que lorsque la position de la machine l'exige absolument.

En particulier, pour les génératrices, qui sont le plus souvent dans des salles de machines, à l'abri des poussières et des chocs, c'est le type ouvert qui se rencontrera presque toujours, ou du moins le type protégé, lorsque la tension est dangereuse.

7. Rendement — Consommation à vide

Pertes. — Le fonctionnement des machines électriques, comme celui de toutes les machines, s'accompagne d'une certaine consommation d'énergie en pure perte. Il est naturellement

de la plus haute importance de réduire ces pertes autant que possible, puisque c'est un déchet.

Les principales espèces de pertes à considérer sont :

PERTES DANS LE FER. — Les pertes dans le fer sont : les pertes par *hystérésis* dans le circuit magnétique : on sait que si on produit un champ variable à travers une masse de fer, il y a une certaine absorption d'énergie, qui est transformée en chaleur, cette quantité d'énergie étant plus ou moins importante suivant les qualités des tôles. On la réduira par l'emploi de tôles spéciales à faible *coefficient hystérétique*;

Les pertes par *courants de Foucault* dans le circuit magnétique : toute masse de métal placée dans un champ magnétique variable est le siège de courants induits qui absorbent de l'énergie et produisent de la chaleur. On les réduira en constituant les circuits magnétiques soumis à des champs variables par des tôles minces isolées les unes des autres, ces tôles ayant elles-mêmes une grande résistivité : on limite ainsi les courants de Foucault;

Les pertes par *courants de Foucault dans les conducteurs* : ces pertes analogues aux précédentes sont classées avec les pertes dans le fer, quoique, en réalité, elles se produisent dans le cuivre. On les réduit en constituant les conducteurs de grosses dimensions par plusieurs conducteurs en parallèle, isolés les uns des autres.

PERTES MÉCANIQUES. — Ce sont les pertes par frottement et ventilation :

Les pertes par *frottement* se manifestent dans les paliers : on y remédie en construisant ceux-ci d'une façon soigneuse, en les lubrifiant convenablement, et surtout en remplaçant les paliers lisses par des paliers à billes : les paliers à billes sont de plus en plus employés aujourd'hui, surtout pour les petits moteurs ;

Les pertes par *ventilation* sont inévitables dans toute machine tournant dans l'air. On pourrait y remédier en donnant aux enroulements une forme aussi compacte que possible, mais on diminuerait la surface de refroidissement : la tendance est au contraire de donner aux extrémités des enroulements une forme qui active la circulation de l'air, et même de munir la machine d'un petit ventilateur, ce qui augmente les pertes, mais la question du refroidissement est beaucoup plus importante que celle des pertes par ventilation.

Aux pertes mécaniques, il convient aussi de rattacher les pertes par *frottement des balais* sur les bagues et collecteurs.

PERTES PAR EFFET JOULE. — Tout conducteur parcouru par du courant absorbe une quantité d'énergie proportionnelle à la résistance du conducteur et au carré de l'intensité du courant ; cette énergie est transformée en chaleur. Les enroulements des machines sont dans ce cas.

Les balais, aux points où ils frottent sur les bagues et collecteurs, présentent une certaine résistance, dite *résistance de contact* : cette résistance se comportera comme une résistance d'enroulement, et il y aura là une nouvelle cause de pertes.

On admet que la chute de tension au contact d'un balai et d'un collecteur est de 0,75 volt par pôle; la chute de tension au contact d'un balai et d'une bague est estimée de 0,25 à 0,75 volt par bague, selon que les balais sont en graphite ou métallisés.

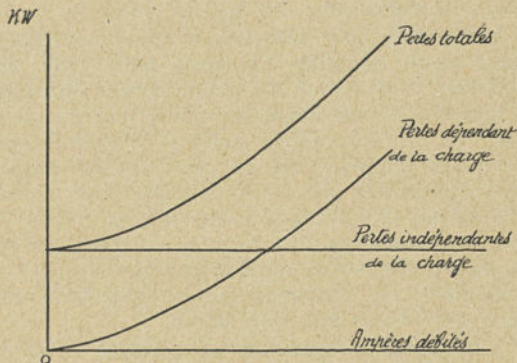


FIG. 10. — Décomposition des pertes d'une machine en pertes constantes et variables.

PERTES DIVERSES. — Les pertes dans les appareils accessoires des machines : rhéostats, excitatrices, ventilateurs, etc., sont toujours comprises dans les pertes correspondantes de la machine comme si ces appareils faisaient partie intégrante de la machine.

L'ensemble de toutes les pertes que nous venons d'étudier peuvent être classées en deux catégories :

a) les pertes *indépendantes de la charge* ou *pertes constantes* : ce sont les pertes dans le fer, les pertes mécaniques, les pertes par effet

Joule dans les excitations séparées ou en dérivation.

b) les pertes *dépendant de la charge* ou *pertes variables* : ce sont les pertes par effet Joule dans les conducteurs induits, et dans les excitations série (fig. 10).

En réalité, il n'y a pas de pertes rigoureusement indépendantes de la charge, car, par suite de la réaction d'induit, le champ magnétique est modifié par la charge; la vitesse également n'est pas toujours la même en charge et à vide; mais ces modifications sont d'ordre secondaire, et on n'en tient compte que dans les mesures précises.

Rendement. — Le rendement caractérise la machine au point de vue de la bonne économie de la transformation d'énergie qui a lieu dans la machine. C'est en principe le rapport de la puissance restituée à la puissance fournie : il est exprimé en pour cent et est toujours plus petit que 100 %. Pratiquement on distingue deux espèces de rendements : le rendement vrai et le rendement approché.

Le *rendement vrai* correspond à la définition de principe du rendement : il faut donc pour l'évaluer faire la mesure de deux puissances et faire leur rapport. C'est souvent assez compliqué, car on ne dispose pas toujours dans les plate-formes d'essai des moyens nécessaires, surtout pour les puissances importantes. En outre pour les moteurs et les génératrices, il faut mesurer des puissances mécaniques, et ce n'est pas toujours commode.

Aussi préfère-t-on, le plus souvent, parler du

rendement approché, basé sur l'évaluation d'une puissance électrique, et sur la mesure des pertes, qui est beaucoup plus commode. Le résultat obtenu diffère un peu de la réalité, à cause des variations des pertes dans le fer, et des pertes mécaniques avec la charge : ces variations n'ont pas une grande importance : il suffit de bien s'entendre sur ce qu'on appelle rendement.

Pour les *moteurs*, on a :

$$\text{Rendement vrai} = \frac{\text{puissance mécan. sur l'arbre}}{\text{puiss. électr. aux bornes}}$$

$$\text{Rendement approché} = \frac{\text{puissance électr. aux bornes} - \text{pertes}}{\text{puiss. électr. aux bornes}}$$

Pour les *génératrices* :

$$\text{Rendement vrai} = \frac{\text{puissance électr. aux bornes}}{\text{puissance mécan. sur l'arbre}}$$

$$\text{Rendement approché} = \frac{\text{puiss. électr. aux bornes}}{\text{puissance électriq. aux bornes} + \text{pertes}}$$

Pour les *transformateurs et convertisseurs*:

$$\text{Rendement vrai} = \frac{\text{puiss. électrique aux bornes secondaires}}{\text{puiss. électrique aux bornes primaires}}$$

$$\text{Rendement approché} = \frac{\text{puissance électriq. aux bornes secondaires}}{\text{puissance électriq. aux bornes sec.} + \text{pertes}}$$

Remarques générales sur le rendement des machines. — Le rendement dépend beaucoup de la nature des machines: ainsi les appareils statiques, qui n'ont pas de pertes mécaniques, par exemple les transformateurs statiques, ont en général un bien meilleur rendement que les machines rotatives.

Les machines ont, toutes choses égales, un

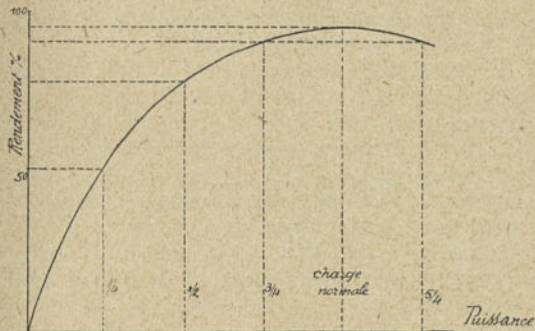


FIG. 11. — Diagramme des variations du rendement en fonction de la charge.

rendement d'autant meilleur qu'elles sont plus puissantes, la matière étant mieux utilisée.

Le rendement varie avec la charge; c'est évident, puisque les pertes dans le fer et mécaniques sont les mêmes à vide qu'en charge, tandis que les autres augmentent avec la charge. Il existe pour chaque machine une charge de rendement maximum, qui, dans des machines bien construites, doit être voisine de la charge normale (fig. 11).

Pour des machines de série courante, on se

contente généralement de fixer la valeur du rendement à pleine charge.

Pour des machines spéciales ou tout au moins pour des machines assez puissantes pour que la question des pertes ait une importance notable, il y aura lieu de spécifier le rendement pour diverses charges, généralement pour $1/4$, $1/2$, $3/4$ de charge, pour la pleine charge et pour $5/4$ de charge. On peut ainsi tracer la courbe du rendement en fonction de la charge, et se rendre compte de son allure.

Le rendement pratique, c'est-à-dire le rendement de la machine en service normal, est généralement inférieur au rendement de la machine à la plate-forme d'essais; en effet, la tension, la fréquence, la vitesse, etc., ne sont pas rigoureusement constantes, et la machine ne fonctionne jamais à son régime théorique.

Le rendement d'une génératrice à courant alternatif varie avec le facteur de puissance du réseau alimenté, puisque selon le facteur de puissance, l'intensité, et par conséquent les pertes par effet Joule seront différentes pour une même charge sous des facteurs de puissance différents. Le rendement est d'autant meilleur que le facteur de puissance est plus voisin de 1.

Une même machine peut être construite avec des pertes constantes faibles et des pertes variables fortes, ou vice versa. Dans le premier cas, le rendement baissera peu lorsque la charge diminuera; au contraire, si les pertes constantes sont importantes, une faible variation de charge entraînera une grande variation du rendement. Les premières machines sont à employer lorsque le régime est très variable ou du moins

lorsque la marche à charge réduite est fréquente. Les secondes, dans le cas de la marche

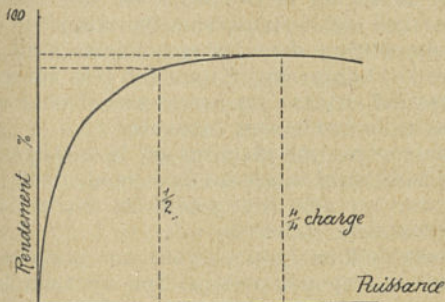


FIG. 12. — Diagramme du rendement pour une machine à faibles pertes constantes.

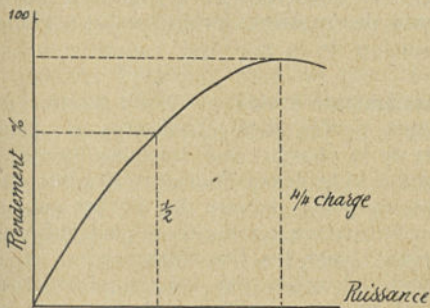


FIG. 13. — Diagramme du rendement d'une machine à fortes pertes constantes.

constamment à pleine charge (fig. 12 et 13).

On appelle machine *poussée* une machine où

la matière est utilisée d'une façon intense, où par raison d'économie on a mis le moins possible de cuivre et de fer. C'est une machine légère, qui sera bon marché. Par contre, la densité de courant dans les enroulements est très forte, le champ magnétique est très concentré (fortes inductions), les pertes seront donc assez fortes et le rendement mauvais.

Par contre, une machine où la matière sera mise largement aura un bon rendement (jusqu'à une certaine limite tout au moins), mais sera coûteuse et lourde.

Il est évident qu'il ne faut pas prendre des machines trop poussées, si l'on veut un fonctionnement économique et une longue durée. Cependant, il ne faut pas tomber dans l'exagération contraire; une machine peut d'ailleurs être poussée et avoir un rendement acceptable, si le constructeur a mis tous ses soins au choix des matières premières et à l'étude de l'utilisation de la matière.

Consommation à vide. — Nous avons vu que certaines pertes sont constantes et indépendantes de la charge; une machine fonctionnant souvent à vide devra donc être étudiée spécialement au point de vue des pertes constantes ou consommation à vide. C'est particulièrement important pour les transformateurs; en effet, l'intensité absorbée par les transformateurs à vide est presque entièrement déwattée, puisqu'il n'y a pas de puissance mécanique à fournir (comme dans les machines tournantes, où il y a toujours les pertes mécaniques à compenser). Le facteur de puissance du réseau en sera donc fortement abaissé.

8. Rigidité diélectrique des isolants

Les isolants ne doivent pas se percer sous l'effet des différences de tensions qui leur sont appliquées. Ce serait assez facile à réaliser pour la tension du régime, tout au moins pour les basses et moyennes tensions, mais il faut prévoir aussi les surtensions accidentelles qui peuvent se produire, par suite de décharges atmosphériques, de rupture brusque de circuits, d'emballément des machines, etc. Ces surtensions pouvant être assez élevées, il est nécessaire de se prémunir contre la détérioration des isolants, en exigeant du constructeur que les enroulements soient essayés à des tensions déterminées, notablement plus élevées que les tensions de service.

L'essai se fait à chaud, successivement entre chacun des circuits de la machine et les autres réunis à la masse. Il doit durer, pour chaque circuit, une minute.

Les tensions d'épreuve admises par l'*Union des syndicats de l'Electricité* sont les suivantes :

Machines de moins 1 kw. : deux fois et demie la tension de service;

Machines de plus de 1 kw. et circuits de tension supérieure à 1.000 volts: deux fois la tension de service, plus 1.000 volts;

Circuits d'excitation et excitatrices de machines synchrones ne comportant pas de coupure du courant d'excitation : dix fois la tension maximum d'excitation (minimum : 1.500 volts; maximum : 3.500 volts);

Induits de moteurs d'induction à bagues : deux fois la tension entre les bagues en circuit ouvert, plus 1.000 volts;

Transformateurs de distributions publiques : pour chacun des enroulements : deux fois et demie sa tension de service, plus 1.000 volts, avec minimum de 1.000 volts pour le côté basse tension, et 10.000 volts pour le côté haute tension.

Les accessoires tels que les rhéostats doivent être essayés à la même tension que les enroulements auxquels ils sont reliés.

9. Partie mécanique

Organes de commande. — Un moteur ou une génératrice peuvent être accouplés à une machine de différentes manières :

a) Par *accouplement direct rigide* : on clavète alors sur l'arbre un plateau qui sera boulonné à un plateau semblable placé sur l'arbre à relier. Les arbres doivent être rigoureusement dans le prolongement l'un de l'autre pour éviter les déformations et les vibrations (fig. 14).

b) Par *accouplement direct élastique* : on a comme précédemment 2 plateaux, mais ils sont reliés d'une façon élastique au moyen de courroies ou de broches garnies de cuir ou de caoutchouc. L'assemblage n'a pas besoin d'être aussi précis, et les démarrages sont plus souples (fig. 15).

Ces deux procédés exigent en tous cas que les vitesses des machines à relier soient égales.

Le rendement est excellent et l'encombrement minimum.

c) Par *courroie* : une poulie, généralement en

fonte, est clavetée sur l'arbre et porte une courroie qui entraîne une poulie placée sur l'arbre

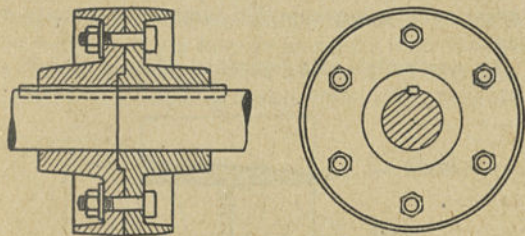


FIG. 14. — Accouplement direct rigide.

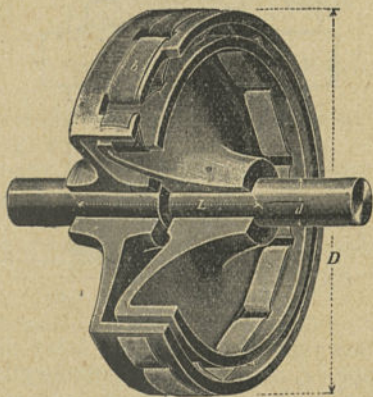


FIG. 15. — Accouplement direct élastique système Zedel.

à commander. La poulie est généralement bombée pour maintenir mieux la courroie (fig. 16).

Quand on utilise un *débrayage* par poulie folle et fixe, l'un des arbres est muni d'un *tambour*, large poulie pouvant porter deux fois la largeur de la courroie. Un tambour est toujours plat.

La commande par courroie est très simple et

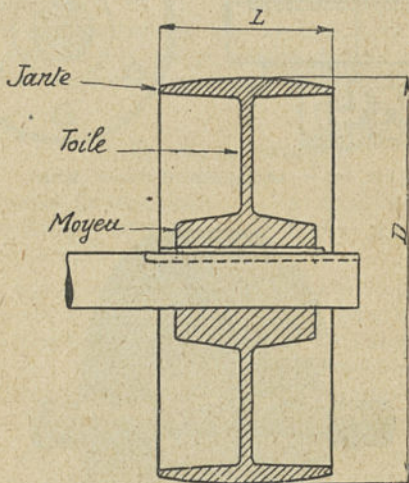


FIG. 16. — Poulie.

permet des rapports de vitesses assez élevés. La commande est souple, car la courroie glisse sous l'effet des à-coups et saute si une surcharge exagérée se produit.

Le rapport des diamètres des deux poulies peut aller jusqu'à 7, mais c'est un maximum. et il est bon de ne pas dépasser 5, sans quoi le glissement est trop fort.

La distance des axes des deux poulies doit être au moins deux fois le diamètre de la plus grande.

Lorsque l'une de ces deux conditions ne peut être remplie, il y a lieu de se servir d'un *enrouleur*, dont le galet repose sur le brin mou, en augmentant l'angle d'enroulement, et dont la

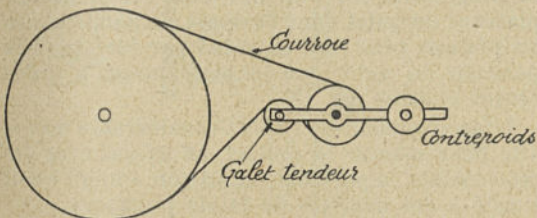


FIG. 17. — Schéma d'un enrouleur de courroie.

tension est donnée par un contrepoids ou un ressort (fig. 17).

Une poulie se désigne par son diamètre et sa largeur en millimètres.

On doit choisir les diamètres assez grands pour ne pas nécessiter des vitesses exagérées de la courroie: 30 mètres par seconde est un maximum, pour cette vitesse.

Le glissement d'une courroie varie de 2 à 6 p. 100.

d) Par *engrenages*: permet une très forte réduction de vitesse, avec un faible encombrement et sans glissement, mais le rendement est mauvais, les engrenages sont très bruyants: on ne devra les employer que dans quelques cas particuliers, par exemple lorsqu'on a besoin d'une série de vitesses à obtenir à volonté par

la manœuvre d'un levier (machines-outils monopoulies). On supprime ainsi l'entretien très coûteux des courroies, qui s'usent particulièrement vite lorsqu'elles sont employées sur des poulies cône, ou à étages.

e) Par *plateau de friction* : système très séduisant ; car il permet un changement continu et progressif. Sur l'un des axes est monté un plateau ; un galet dont l'axe est perpendiculaire au plateau peut être entraîné par lui ; selon la position du galet sur le plateau, on a différentes vitesses (fig. 18).

L'inconvénient est l'effort considérable nécessaire pour assurer le contact, effort qui crée des frottements importants ; aussi son emploi est-il limité à des moteurs de faible puissance.

Organes de fixation. — En principe les machines électriques peuvent être fixées au sol par 4 boulons de fondation ; on peut aussi les fixer au plafond ou contre un mur.

Lorsqu'on emploie la commande par courroie, il est nécessaire de pouvoir tendre celle-ci facilement : on monte alors la machine au moyen de boulons sur 2 *glissières* longitudinales munies d'une rainure pour le passage des boulons. De fortes vis vissées dans des bossages venus avec les extrémités des glissières permettent de régler la position de la machine qui est ensuite immobilisée par blocage des boulons.

La glissière est elle-même fixée au sol par des boulons de fondation (fig. 19).

Quelquefois pour les petits moteurs, on utilise un dispositif à charnière où le poids du moteur tend lui-même la courroie.

Tous ces accessoires : poulie ou accouplement, glissières, boulons de fondation doivent

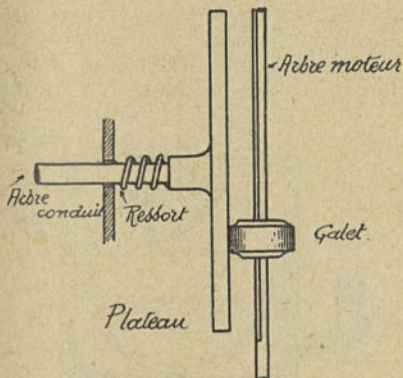


FIG. 18. — Entraînement par plateau de friction.

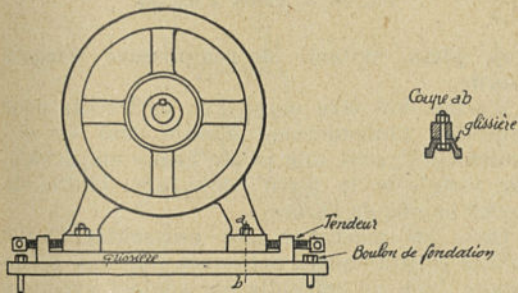


FIG. 19. — Montage d'une machine sur glissières et tendeurs.

être expressément spécifiés dans une commande.

Graissage. — Le graissage se fait généralement par des *paliers à bagues*, qui ont l'avantage de se prêter très bien aux grandes vitesses, et d'être relativement économes d'huile (fig. 20).

Une machine sérieuse est munie d'un couvercle de palier fermant bien pour éviter l'introduction de la poussière, et d'un niveau de

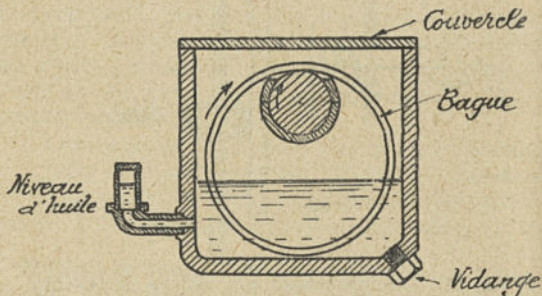


FIG. 20. — Palier à bagues.

trop plein évitant le remplissage exagéré d'huile.

L'arbre doit être muni d'un *défecteur* pour empêcher l'introduction d'huile dans les enroulements : c'est une petite bague empêchant, par l'effet de la force centrifuge, l'huile de couler le long de l'arbre.

Dans les machines très puissantes l'huile circule constamment, actionnée par une petite pompe : elle est refroidie par contact avec une circulation d'eau.

Enfin, surtout pour les petits moteurs, on emploie de plus en plus les *roulements à billes*, qui ont un meilleur rendement, et exigent le minimum de graissage.

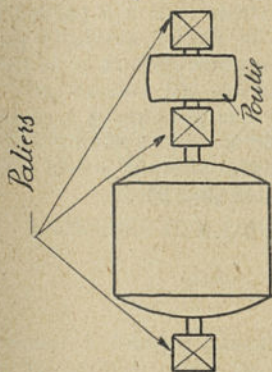
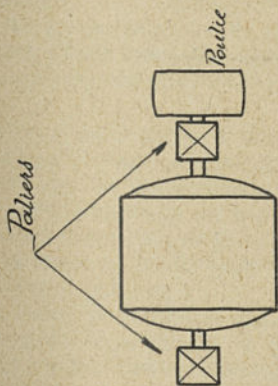
*Machine à 3 paliers**Machine à 2 paliers
(poulie en porte à faux)*

FIG. 21. — Disposition des paliers par rapport à la poulie.

Les machines transmettant des puissances importantes par courroie sont à 3 paliers, afin d'éviter les efforts de flexion produits par la poulie si elle était en porte-à-faux, et le frottement exagéré des paliers qui s'ensuivrait.

En principe, pour des puissances à partir de 150 et même de 120 kw., le système à 3 paliers est recommandé, surtout si le couple transmis est irrégulier (fig. 21).

CHAPITRE II

DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES RELATIVES AUX MACHINES ÉLECTRIQUES ET DES GARANTIES A IMPOSER AUX CONSTRUCTEURS

1. *Dynamo à courant continu.* — 2. *Moteur à courant continu.* — 3. *Alternateur synchrone.* — 4. *Moteur synchrone.* — 5. *Moteur asynchrone.* — 6. *Moteur à collecteur. Choix entre les différents systèmes de moteurs à courant alternatif.* — 7. *Transformateur statique.* — 8. *Commutatrice.* — 9. *Groupes convertisseurs. Choix entre les différents systèmes de transformation d'alternatif en continu.*

Lorsque nous avons à acheter une machine électrique, il s'agit de spécifier très exactement quelles sont les caractéristiques de la machine, pour qu'elle réponde au but poursuivi.

Chaque mot ayant de la valeur dans une commande, il est utile d'étudier cette *spécification* d'une façon précise.

En outre, pour que la machine ait un fonctionnement économique et que sa durée soit longue, malgré les conditions parfois dures de son service, il faut demander au constructeur des *garanties* appropriées.

Ce sont ces deux questions, caractéristiques et garanties, que nous allons traiter successivement pour chacune des machines que nous pouvons avoir à installer.

1. Dynamo à courant continu

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification complète d'une dynamo sont :

Le mode d'excitation;

La tension aux bornes;

La puissance, l'intensité débitée, le genre de service, le mode de refroidissement;

La vitesse;

Le mode de protection;

Le mode de commande mécanique;

Les organes de fixation;

Le graissage.

MODE D'EXCITATION. — Suivant la façon dont une dynamo est excitée, ses caractéristiques seront très différentes.

Excitation séparée. — La tension baisse légèrement avec la charge, un peu moins vite que dans la machine shunt. Ce mode d'excitation n'a pas grand intérêt, sauf dans les deux cas suivants (fig. 22 et 23) :

a) *Dynamos à haute tension* : on évite alors l'emploi de fil très fin qu'il faudrait pour l'excitation si on la prenait en dérivation aux bornes de l'induit.

b) *Dynamos à grande chute de tension*, telles que dynamos pour la soudure et pour les fours électriques : en charge, la tension est presque

nulle, puisque les pôles sont presque en court-circuit : la machine risquerait de se désamorcer, si elle était shunt.

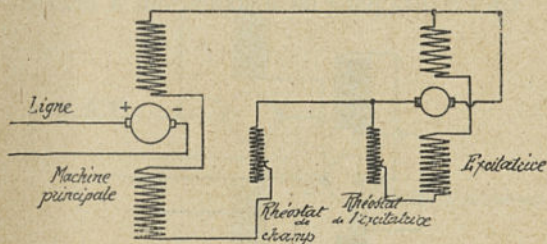


FIG. 22. — Génératrice à courant continu à excitation séparée. Schéma.

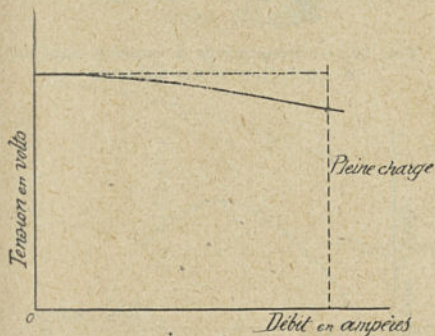


FIG. 23. — Génératrice à courant continu à excitation séparée. Diagramme des variations de la tension en fonction de la charge.

Excitation série. — La tension augmente lorsque l'intensité augmente, puis passe par un maximum, et décroît ensuite. Cette machine

n'est pas intéressante pour les distributions industrielles qui sont à tension constante (fig. 24 et 25).

On l'utilise pour les distributions à intensité

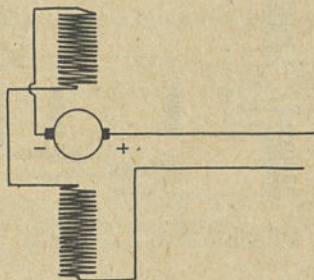


FIG. 24. — Génératrice à courant continu à excitation série. Schéma.

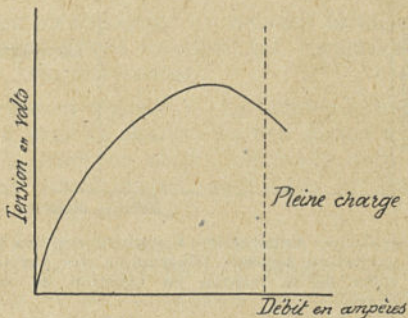


FIG. 25. — Génératrice à courant continu à excitation série. Diagramme des variations de la tension en fonction de la charge.

constante, qui ne sont plus guère employées aujourd'hui, et dont nous ne parlerons pas.

On a construit également des dynamos série

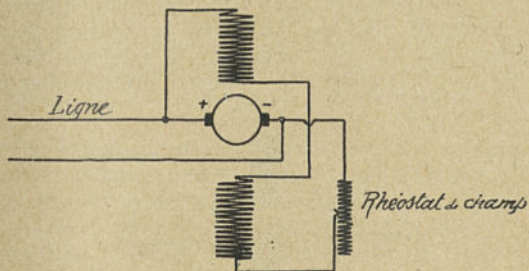


FIG. 26. — Génératrice à courant continu à excitation shunt. Schéma.

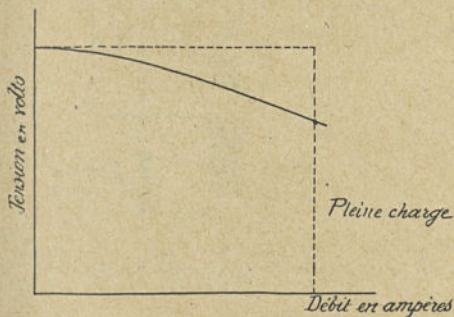


FIG. 27. — Génératrice à courant continu à excitation shunt. Diagramme des variations de la tension en fonction de la charge.

pour la soudure électrique, en utilisant la partie tombante de la courbe de la tension, afin de limiter l'intensité débitée.

Excitation shunt ou en dérivation. — C'est la plus employée. La tension baisse lorsque l'intensité augmente, mais d'une façon relativement lente, un peu plus vite cependant qu'avec l'excitation séparée, puisque, la tension aux bornes de l'induit baissant, le courant dans l'inducteur baisse lui-même. Pour maintenir

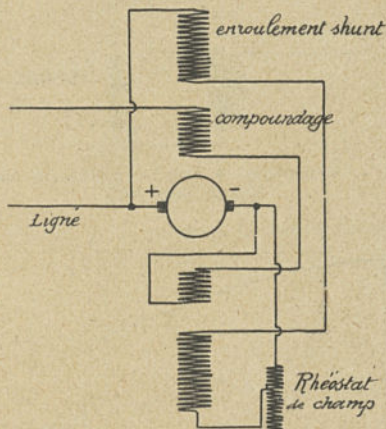


FIG. 28. — Génératrice à courant continu à excitation compound. Schéma.

la tension constante, il faut régler le courant inducteur au moyen d'un rhéostat, dit rhéostat d'excitation ou rhéostat de champ (fig. 26 et 27).

Excitation compound. — C'est une machine shunt à l'inducteur de laquelle on a ajouté quelques spires en série avec l'induit, de façon

à compenser la baisse de tension en charge, puisque les spires série produisent une excitation croissant avec la charge (fig. 28).

En réalité la compensation n'est jamais parfaite à toutes les charges. C'est toutefois la machine tout indiquée lorsqu'on veut une tension approximativement constante, sans s'assujettir à régler la tension au moyen d'un rhéostat.

La machine est dite *hypercompound*, lorsque la compensation est faite de façon que la tension croisse légèrement avec la charge : on peut ainsi compenser non seulement la chute de tension dans l'induit, mais aussi dans les lignes, afin d'avoir une tension constante aux bornes des appareils d'utilisation, moteurs et lampes.

TENSION AUX BORNES. — Nous avons vu au chapitre premier que les tensions courantes sont 125, 250 et 500 volts.

Lorsqu'on se trouve en présence d'une distribution existante, il faut, pour déterminer la tension de la génératrice à installer, prendre la tension de distribution et ajouter la chute de tension en ligne pour la pleine charge.

Par exemple si nous devons alimenter des appareils d'utilisation à 230 volts, absorbant en pleine charge 1.500 ampères et que la résistance de la ligne soit 0,02 ohms, la chute de tension sera :

$$1.500 \times 0,02 = 30 \text{ volts}$$

Il faudra une dynamo de 260 volts.

Si la chute de tension est supérieure à 10 pour 100, il sera bon de désigner la machine par deux chiffres : la tension de distribution et

la tension de la machine telle que nous venons de la déterminer, afin que le constructeur prévoie des limites suffisantes au réglage de l'excitation. S'il y a moins de 10 p. 100 de chute de tension, c'est inutile, une machine courante suffira.

PUISSANCE, INTENSITÉ DÉBITÉE, GENRE DE SERVICE, MODE DE REFROIDISSEMENT. — La *puissance* est une donnée fondamentale du problème : elle comporte la puissance absorbée par les appareils d'utilisation et la puissance dissipée sous forme de chaleur dans les lignes. Nous verrons dans le volume II comment on détermine la puissance nécessaire à une installation déterminée, en tenant compte des chances plus ou moins grandes d'utilisation simultanée des différents appareils (vol. II, chap. I^{er}, § 6).

L'*intensité* se déduit de la connaissance de la puissance et de la tension aux bornes.

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Puissance en kw.} \times 1.000}{\text{Tension}}$$

Ne pas oublier que la fixation d'une puissance n'a de sens que si on fixe en même temps le *genre de service*.

Sauf spécification contraire, le *refroidissement* est naturel pour les machines ouvertes ou protégées de puissances courantes.

VITESSE. — Nous avons vu au chapitre premier quelles considérations influent sur le choix de la vitesse.

Les machines de faible puissance seront réalisées au moyen de machines bipolaires à grande vitesse. Pour des machines un peu plus

fortes, on prendra 4 pôles et une vitesse plus faible et ainsi de suite.

Nous donnons ci-après, à titre d'exemple et pour fixer les idées, les vitesses d'une série de dynamos.

kw.	pôles	tours/minute
1	2	2.200
2	2	2.000
3,5	2	1.900
4,5	2	1.775
5,5	2	1.700
7	2	1.650
9	4	1.425
12	4	1.380
15	4	1.300
17	4	1.150
20	4	1.000
26	4	950
31,5	4	900
41,5	4	800
54	6	700
63	6	650
72	6	600
96	6	500
132	6	400
168	8	360
225	8	360

Il y a toujours intérêt à se rapprocher des vitesses des machines de séries, car les machines normales sont forcément moins coûteuses que les machines spéciales.

MODE DE PROTECTION. — On n'utilisera les types fermés que dans des cas spéciaux où la nécessité s'en fait particulièrement sentir.

MODE DE COMMANDE MÉCANIQUE. — Comman-
de par courroie ou par accouplement di-
rect. Selon le cas, indiquer les dimensions de
la poulie ou du plateau d'accouplement.

ORGANES DE FIXATION. — Spécifier si la four-
niture comprend boulons, glissières et tendeurs
(pour la commande par courroie) ou simple-
ment les boulons de fondation (pour l'accou-
plement direct).

GRAISSAGE. — Indiquer le nombre de paliers,
graissage à bagues ou roulement à billes.

Garanties. — Les garanties à imposer au
constructeur sont relatives :

- A la régulation ;
- Au rendement ;
- A la rigidité diélectrique des isolants ;
- A l'échauffement ;
- A la commutation ;
- A l'emballement ;
- A la surcharge.

RÉGULATION. — Définie par la *chute relative
de tension* (ou l'élévation relative de tension
pour les machines à excitation séparée) et par
la *variation cinétique de tension*.

Il faut une régulation très bonne pour les
machines qui doivent rester sans surveillance,
malgré les variations de la charge; lorsqu'au
contraire, on peut s'astreindre à régler à la
main ou au moyen d'un régulateur automa-
tique, on peut être plus large.

Dans les machines normales shunt, la chute
de tension est de l'ordre de 4 à 10 p. 100; la
variation cinétique de tension est de 2 ou 3 au
plus.

Les machines compound permettent une chute de tension de l'ordre de 3 à 4 p. 100, ce qui satisfait généralement au service d'une installation d'usine, sans réglage continu de l'excitation.

RENDEMENT. — Le rendement est généralement maximum pour la puissance normale. Il varie dans de fortes proportions suivant la puissance de la machine. Il s'entend à vitesse et tension constantes.

Voici la valeur des rendements en pleine charge pour une série de dynamos :

kw.	t./m.	pôles	rendement p. 100
1	2.200	2	75
2	2.000	2	82
4,5	1.775	2	84,5
7	1.650	2	85
12	1.380	4	86,5
20	1.000	4	88
31,5	900	4	89,5
54	700	6	90,5
72	600	6	91
96	500	6	92
132	400	6	92,5
225	360	8	93

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS. — (Voir chapitre premier.)

ECHAUFFEMENT. — (Voir chapitre premier.)

COMMUTATION. — Les étincelles qui se produisent à la surface du collecteur, au passage des balais, le détruisent rapidement. Il faut donc les éviter.

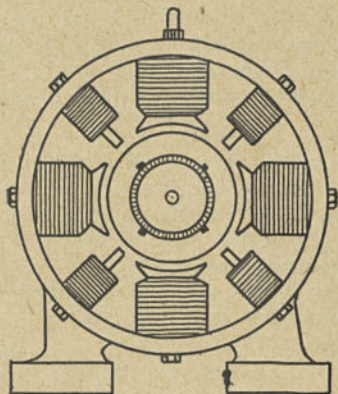


FIG. 29. — GÉNÉRATRICE À COURANT CONTINU À PÔLES SUPPLÉMENTAIRES. Disposition des pièces polaires.

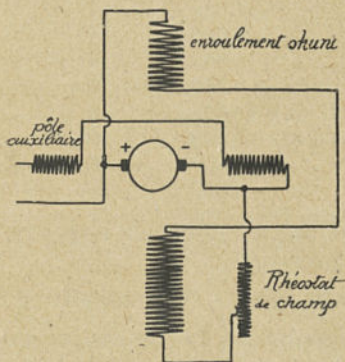


FIG. 30. — GÉNÉRATRICE À COURANT CONTINU À PÔLES SUPPLÉMENTAIRES. Schéma.

Dans une bonne machine, en décalant les balais en avant de leur position théorique ou ligne neutre, on doit trouver une position où la commutation se fait sans étincelles (à condition bien entendu que le collecteur soit propre, bien tourné, que les balais appuyent régulièrement sans vibrer, et qu'ils soient convenablement rodés). Cette position dépend de la charge, et de l'excitation : la bonne commutation est d'autant meilleure que l'excitation est plus forte.

Il faudrait donc, semble-t-il, faire varier le calage suivant la charge et suivant l'excitation, ce qui serait peu pratique.

En réalité, les progrès modernes de la construction des machines permettent d'imposer au constructeur une commutation sans étincelles à *calage fixe* des balais pour toutes charges.

Sous une surcharge momentanée de 50 p. 100, il ne doit pas y avoir d'étincelles destructives.

Dans certaines machines, ayant une forte réaction d'induit, on n'arrive à réaliser ces conditions que par l'emploi de *pôles auxiliaires* intercalés entre les pôles principaux, qui compensent en totalité ou en partie la démagnétisation des inducteurs par l'induit, et assurent une commutation sans étincelles dans une large zone de part et d'autre de la ligne neutre (fig. 29 et 30).

Toutefois pour les génératrices de service courant, on arrive généralement à se passer de pôles auxiliaires.

EMBALLEMENT. — Une machine peut s'emballer, par exemple lorsqu'elle est actionnée par un moteur sans régulateur. Il convient de

s'assurer qu'elle pourra supporter cet emballage sans détérioration mécanique.

On admet généralement une élévation de vitesse de 20 p. 100 pendant 15 minutes, sans qu'il y ait de déformation permanente dans la machine.

SURCHARGE. — On admet généralement, pour un service normal, une surcharge correspondant à une surintensité de 50 p. 100, pendant 5 minutes, la tension étant aussi voisine que possible de la normale (ce qui correspond généralement au rhéostat de champ en court-circuit). Il ne doit pas se produire de déformation.

2. Moteur à courant continu

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification complète d'un moteur sont :

- Le mode d'excitation;
- La tension d'alimentation;
- La puissance sur l'arbre, l'intensité absorbée, le genre de service, le mode de refroidissement;
- La vitesse;
- Le mode de protection;
- Le procédé de démarrage;
- Le mode de commande mécanique;
- Les organes de fixation;
- Le graissage.

MODE D'EXCITATION. — Suivant le mode d'excitation, les propriétés d'un moteur sont totalement différentes.

Excitation séparée. — Ce mode d'excitation est employé parfois pour des tensions élevées.

afin d'éviter des inducteurs à fils trop fins. Les propriétés sont celles du moteur shunt (fig. 31 et 32).

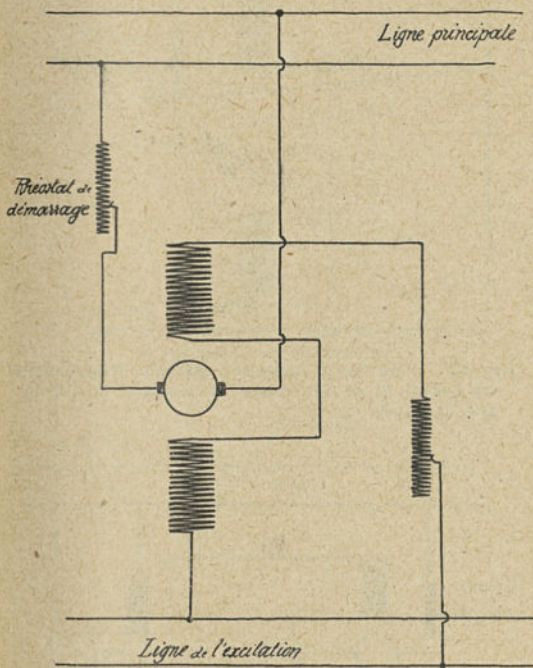


FIG. 31. — Moteur à excitation séparée. Schéma.

Quelquefois on alimente les inducteurs par une excitatrice dont l'inducteur est lui-même excité en série avec le courant principal. La

machine a alors les propriétés d'une machine série (fig. 33).

Ces dispositifs sont peu employés.

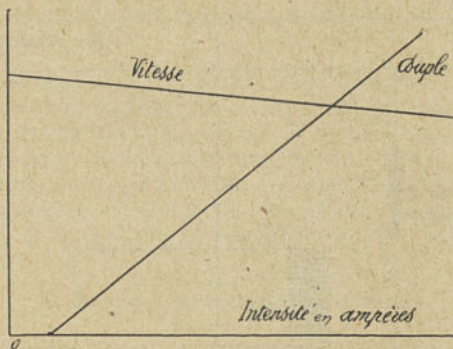


FIG. 32. — Moteur à excitation séparée. Diagrammes du couple et de la vitesse en fonction de l'intensité absorbée.

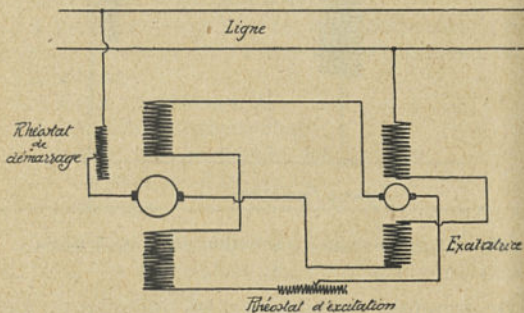


FIG. 33. — Moteur à excitation séparée. Schéma d'un montage particulier.

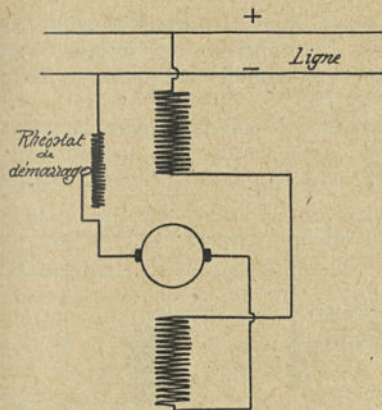


FIG. 34. — Moteur à courant continu à excitation série. Schéma.

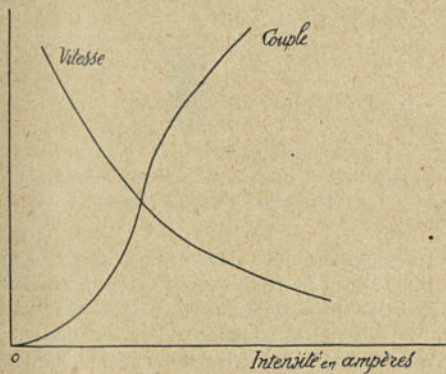


FIG. 35. — Moteur à courant continu à excitation série. Diagrammes du couple et de la vitesse en fonction de l'intensité absorbée.

Excitation série. — Sous tension constante la vitesse est fonction de l'intensité : à toute intensité correspond une vitesse déterminée (fig. 34 et 35).

En calculant convenablement l'excitation, on arrive à faire donner au moteur un couple croissant très rapidement avec l'intensité.

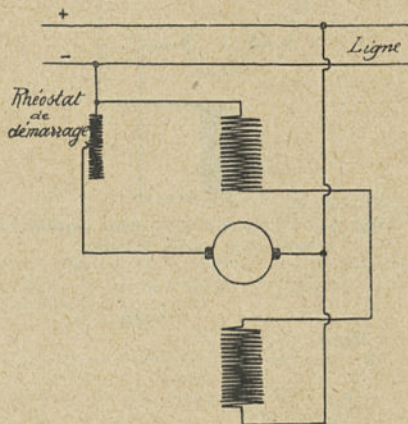


FIG. 36. — Moteur à courant continu à excitation shunt. Schéma.

Le moteur série est intéressant dans les appareils où le couple résistant augmente beaucoup avec la vitesse (ventilateurs), où il faut vaincre des efforts considérables au démarrage, et subir des à-coups considérables, en ralentissant, mais sans caler (traction).

Il ne faut pas l'accoupler à des machines capables de se trouver déchargées (pompes sus-

ceptibles de se désamorcer), car si le couple résistant devient nul, la vitesse n'est plus limitée que par les résistances passives, et le moteur s'emballera, ce qui pourra se terminer par l'éclatement du collecteur et des frettes.

Excitation dérivation. — Comme pour les génératrices, c'est la plus employée : la vitesse est sensiblement constante, et ne baisse que lentement lorsque la charge augmente (fig. 36).

Le moteur shunt convient donc lorsqu'on a besoin d'une vitesse presque constante.

Le couple est proportionnel à l'intensité : il ne croît donc pas très vite avec la charge, et le démarrage ne sera pas très énergique (mêmes caractéristiques que le moteur à excitation séparée).

Excitation compound. — L'excitation compound des moteurs est toujours à flux additionnels, c'est-à-dire que l'enroulement série ajoute son action à celle de l'enroulement shunt (fig. 37 et 38).

La vitesse décroît plus rapidement que dans le moteur shunt lorsque la charge augmente, mais le couple croît rapidement avec l'intensité. Ce moteur aura donc un couple de démarrage énergique; associé à un volant, il sera indiqué pour les machines sujettes à des à-coups très violents, qu'il faudra surmonter, quitte à ralentir un peu : c'est le cas des laminoirs. C'est un moteur à coups de collier.

Il remplacera quelquefois le moteur série, lorsqu'on a besoin d'un couple énergique, mais qu'on craint l'emballement. Ici l'emballement sera toujours limité par la présence de l'enroulement dérivation.

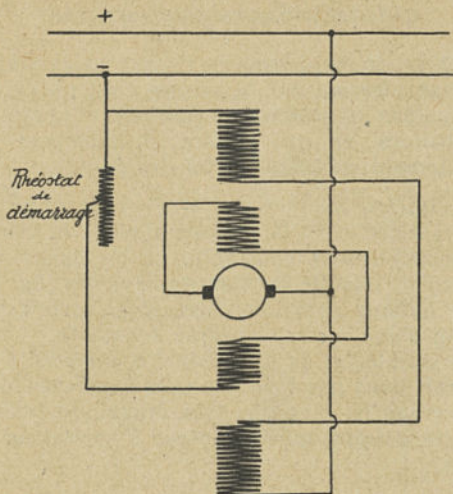


FIG. 37. — Moteur à courant continu à excitation compound. Schéma.

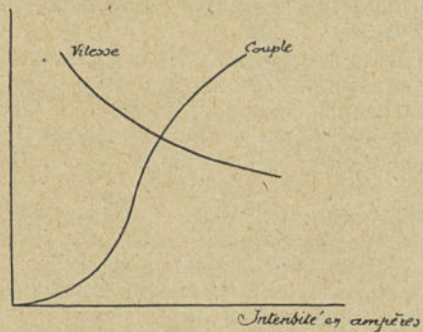


FIG. 38. — Moteur à courant continu à excitation compound. Diagrammes du couple et de la vitesse en fonction de l'intensité absorbée.

TENSION D'ALIMENTATION. — C'est la tension de distribution du réseau. Quelquefois cette tension varie dans d'assez fortes proportions (réseaux surchargés); il faudra alors le spécifier au constructeur, en lui fixant les maxima et minima, de façon que le moteur puisse donner sa puissance pour la tension minima.

PUISSANCE SUR L'ARBRE, INTENSITÉ ABSORBÉE, GENRE DE SERVICE, MODE DE REFROIDISSEMENT. — La *puissance sur l'arbre* est une donnée fondamentale du problème. Il faut bien connaître la machine à entraîner; un moteur trop puissant donnera un faible rendement, un moteur trop faible chauffera.

Parallèlement à la détermination de la puissance se fera la détermination du *genre de service* auquel correspond cette puissance.

L'*intensité* sera connue lorsqu'on aura la puissance, la tension et le rendement garanti. Il n'y a donc pas lieu de la spécifier.

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Puissance en kw.} \times 1.000}{\text{Tension} \times \text{Rendement}}$$

Le mode de *refroidissement* sera autant que possible le refroidissement naturel, tout au moins pour les machines ouvertes. C'est au constructeur à juger si l'emploi d'un système de ventilation est indispensable.

VITESSE. — Nous avons vu que la vitesse varie dans de fortes proportions avec la nature des applications. Il importe cependant dans la mesure du possible de se rapprocher des vitesses des machines courantes, afin d'avoir des

moteurs meilleur marché et facilement remplaçables.

A remarquer qu'un type de génératrice employé comme moteur tournera moins vite en moteur qu'en génératrice.

Voici les vitesses d'une série de moteurs, correspondant à la série de génératrices que nous avons vue au paragraphe précédent :

kw.	chev.	pôles	t./m.
0,75	1	2	1.800
1,5	2	2	1.700
2,5	3,5	2	1.600
3,5	4,75	2	1.500
4,4	7,5	2	1.400
7,5	10,25	4	1.250
10,3	14	4	1.175
12,5	17	4	1.125
14,7	20	4	1.000
16,9	23	4	900
22	30	4	850
27,2	37	4	820
36	49	4	720
45,5	62	6	610
53	72	6	575
59,5	81	6	520
81	110	6	430
112	158	6	345
144	196	8	310
184	240	8	300

Dans certains cas, il est utile d'avoir *plusieurs vitesses de régime* réglables à volonté, soit d'une façon *continue*, soit d'une façon *discontinue*; c'est le cas d'un grand nombre de machines-outils, des laminoirs, des machines pour

filatures, pour la commande des machines à papier, etc. On substitue ainsi le changement de vitesse électrique aux anciens systèmes de changements de vitesse mécaniques: poulies à étages, engrenages, etc., tous plus ou moins compliqués et de manœuvre difficile.

Le moteur à courant continu offre dans ce cas un grand nombre de solutions.

Les plus employées sont :

La mise *en série* ou *en parallèle* de 2 moteurs: cette disposition est surtout employée en traction. Les 2 moteurs étant en série fonctionnent sous une tension égale à la moitié de la tension du réseau, donc à une vitesse réduite; mis en parallèle, ils marchent à vitesse normale. Ce dispositif ne permet l'obtention que de deux vitesses; on le combine généralement avec le réglage par intercalation de résistances;

L'emploi d'un *moteur à 2 collecteurs* correspondant à des bobinages distincts sur le même induit: ces deux bobinages peuvent être couplés à volonté, soit en série, soit en parallèle. Cela revient en somme au même que le procédé précédent.

Le *décalage des balais*; ce serait un procédé idéal par sa simplicité, s'il n'avait l'inconvénient d'une mauvaise commutation dès qu'on s'écarte sensiblement du calage normal des balais.

Le *régulation rhéostatique*, qui consiste à intercaler en série sur l'induit une résistance: il y a alors réduction de la tension aux bornes, et par suite de la vitesse. Ce procédé est commode, mais il y a le gros inconvénient de provoquer la

dépense d'une énergie considérable dans le rhéostat, et par suite d'être peu économique. On s'en contente cependant pour la régulation des moteurs à fonctionnement très intermittent, où il est nécessaire de rester maître de la vitesse : par exemple pour la traction, les appareils de levage, etc.

Nous parlerons maintenant de la variation de vitesse par variation de *champ inducteur* obtenue au moyen d'un rhéostat intercalé dans le circuit d'excitation. La variation du champ inducteur a l'avantage de permettre d'obtenir une variation de vitesse assez étendue sans que le rendement en soit fortement diminué. Par contre la commutation est très mauvaise aux faibles excitations. Cela oblige à munir le moteur de pôles auxiliaires très largement calculés. Le moteur est lourd et cher.

Il faut bien spécifier quelles sont les *puissances* correspondant aux différentes vitesses. On peut en effet avoir besoin, soit d'un moteur à puissance constante aux différentes vitesses, auquel cas le moteur doit être calculé pour la pleine puissance à la vitesse la plus faible, soit d'un moteur à couple constant; dans ce dernier cas, la puissance est réduite sensiblement dans la même proportion que la vitesse : le moteur est calculé pour la pleine puissance à la vitesse la plus forte.

On a construit des moteurs avec augmentation de vitesse de l'ordre de 600 p. 100, mais c'est une limite, et il sera bon de se tenir en dessous.

La désignation de la variation de vitesse se fera de la façon suivante : dans le cas de la

puissance constante, on dira par exemple : un moteur de 10 kw. à 300/2.000 tours/minute; dans le cas du couple constant, on dira un moteur de

10 kw. à 2.000 t./m.

1,5 kw. à 300 t./m.

Il sera bon de demander, si la variation de vitesse est tant soit peu importante, que le moteur soit muni de pôles auxiliaires. D'ailleurs, le constructeur lui-même proposera des pôles auxiliaires à cause de la difficulté de réaliser une bonne commutation à toutes vitesses sans cela.

MODE DE PROTECTION. — A fixer d'après l'emplacement du moteur.

A noter que le collecteur est un organe délicat, et qu'il faudra souvent adopter un type de carcasse demi-fermée ou fermée à cause de lui : les projections de gouttes d'eau sont en particulier désastreuses pour cet organe.

A noter aussi que, dans les locaux renfermant des poussières inflammables, il faut tenir compte du danger d'un collecteur ouvert, où les étincelles en service normal sont inévitables.

PROCÉDÉ DE DÉMARRAGE. — Le procédé de démarrage universellement employé pour les moteurs à courant continu est la mise sous tension progressive de l'induit au moyen d'un rhéostat en série. Il faudra dire si la commande comprend le rhéostat, et alors, comment on doit démarrer, à vide ou en charge; dire aussi si le rhéostat peut avoir à servir accidentellement ou normalement à la diminution de vitesse en service.

Enfin dans le cas du démarrage en charge, on spécifiera la nature de la machine commandée; certains outils en effet nécessitent un très grand effort de démarrage, d'où l'emploi d'un rhéostat très divisé et par suite très progressif.

MODE DE COMMANDE MÉCANIQUE. — Par poulie, accouplement direct, engrenages, plateau de friction, etc. Donner les dimensions de la poulie, du plateau d'accouplement, des pignons avec la démultiplication à prévoir, du galet, etc.

ORGANES DE FIXATION. — Glissières, boulons et tendeurs ou simplement boulons de fondation. Quelquefois le moteur doit être disposé pour être fixé par le côté, le long d'un mur ou par-dessus, au plafond. L'indiquer.

GRAISSAGE. — Paliers à bagues ou à billes. 2 ou 3 paliers.

Garanties. — Les garanties à imposer au constructeur sont relatives :

- A la régulation;
- Au rendement;
- A la rigidité diélectrique des isolants;
- A l'échauffement;
- A la commutation;
- A l'emballement;
- Au couple maximum.

RÉGULATION. — Définie par la *chute relative de vitesse*, et intéressante lorsqu'on cherche à avoir une vitesse aussi constante que possible : la chute relative de vitesse doit alors être minimum.

Dans un moteur shunt, la chute relative de

vitesse est de l'ordre de 5 p. 100 (sous tension constante).

Lorsqu'on ne cherche pas à avoir une vitesse constante, la notion de régulation n'a plus de sens, il vaut mieux, en spécifiant la vitesse, donner les limites extrêmes de celle-ci. C'est le cas des moteurs à vitesse variable, où on cherche une variation de vitesse déterminée, obtenue par réglage, et celui des machines compound où on cherche un écart de vitesse déterminé, obtenu automatiquement par passage de la marche à vide à la marche en charge.

Pour les moteurs série, l'indication de la vitesse en charge suffit.

RENDEMENT. — Le rendement des moteurs s'entend à tension constante aux bornes et égale à la tension normale d'alimentation.

Voici, à titre d'exemple, la valeur des rendements en pleine charge pour une série de moteurs :

kw.	chev.	t./m.	pôles	rendement 0/0
—	—	—	—	—
0,75	1	1.800	2	69
1,5	2	1.700	2	75
3,5	4,75	1.500	2	82
5,5	7,5	1.400	2	83
10,3	14	1.175	4	87
16,9	23	900	4	89
27	37	820	4	90
45,5	62	610	6	90,5
59,5	81	520	6	90,5
81	110	430	6	92
112	152	345	6	92,5
184	250	300	8	92,5

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS (Voir chapitre premier.)

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier.)

COMMUTATION. — Dans un moteur, la position de bonne commutation est obtenue par décalage des balais en arrière de la ligne neutre : cette position dépend de la charge et de l'excitation.

On impose la garantie de bonne commutation, sans étincelles, à *calage fixe* des balais, comme pour les génératrices. Cette garantie est tenue pour les bonnes machines normales.

Lorsque le moteur doit pouvoir tourner au cours de son travail dans *les deux sens*, la position sans étincelles doit être la ligne neutre; la condition de bonne commutation est donc plus difficile à remplir; on devra souvent employer les pôles auxiliaires.

Enfin pour les moteurs à vitesse variable, cette condition ne pourra généralement être remplie qu'avec les *pôles auxiliaires*.

Sous une surcharge portant l'intensité à une valeur supérieure de 50 p. 100 à la normale, il ne doit pas y avoir d'étincelles destructives.

Pour les moteurs à *service discontinu*, en raison des surcharges momentanées possibles, il ne serait pas possible de garantir une marche sans étincelles à toutes charges; aussi se contente-t-on le plus souvent d'imposer la condition suivante : *calage fixe* des balais, pas de nécessité de polissage, ni d'entretien du collecteur pendant 10 heures consécutives de fonctionnement.

EMBALLEMENT. — L'emballement peut se produire, dans les machines série, par suppression

de la charge, dans les machines shunt ou compound, par affaiblissement exagéré et accidentel du champ inducteur. On impose généralement une élévation de vitesse de 20 p. 100 pendant 15 minutes, sans déformation permanente.

COUPLE MAXIMUM. — Un moteur doit pouvoir supporter sans caler les surcharges accidentelles qui peuvent se produire. Il faut donc qu'il soit capable de développer un couple plus grand que le couple normal.

Pour les usages courants, on admet que le couple maximum doit être de 1,5 fois le couple normal, sans ralentissement excessif.

Pour les moteurs compound et série on pourra avoir des valeurs bien plus grandes que 1,5.

3. Alternateur synchrone

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification d'un alternateur synchrone sont :

- Le nombre de phases et la fréquence;
- Le système et les caractéristiques de l'excitation;
- La tension;
- La puissance apparente, le facteur de puissance du réseau à alimenter, l'intensité débitée, le genre de service, le mode de refroidissement;
- La vitesse;
- Le mode de protection;
- Le mode de commande mécanique;
- Les organes de fixation;
- Le graissage.

NOMBRE DE PHASES ET FRÉQUENCE. — Ce sont des données du réseau à alimenter. Voir à ce sujet le chapitre premier. Ne pas oublier d'indiquer si le fil neutre doit être sorti, dans le cas du triphasé.

SYSTÈME ET CARACTÉRISTIQUES D'EXCITATION. — L'excitation d'un alternateur peut être produite de différentes façons (fig. 39) :

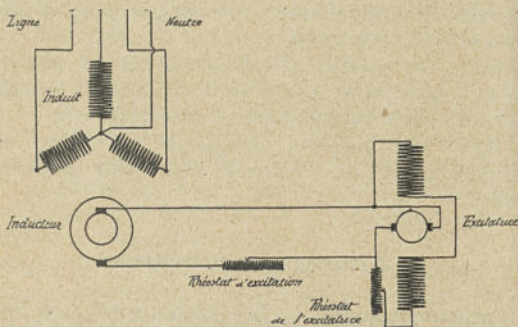


FIG. 39. — Schéma d'un alternateur avec son excitatrice.

a) *Excitatrice spéciale* pour un alternateur ou un groupe d'alternateurs, et conduite par un moteur distinct du moteur conduisant l'alternateur. L'excitatrice et l'alternateur font alors l'objet de fournitures séparées.

Si l'excitatrice existe déjà, il faudra indiquer au constructeur de l'alternateur la tension et le courant maximum disponibles aux bornes de l'excitatrice.

Ce système ne peut être employé économiquement que dans le cas où la centrale comporte plusieurs alternateurs, et que sa charge est

assez régulière pour que l'excitatrice travaille la plus grande partie du temps au voisinage de la pleine charge. Il a l'avantage d'une grande régularité dans la tension d'excitation, qui n'est pas influencée par les variations de vitesse de la machine principale. En outre, on dispose d'un réseau continu qui peut être utilisé pour la commande des appareils auxiliaires de la station.

b) *Excitatrice calée en bout d'arbre* de l'alternateur. Dans ce cas l'alternateur et l'excitatrice font partie de la même fourniture, et il n'y a pas lieu d'imposer au constructeur ni la tension, ni l'intensité d'excitation : c'est à lui de fixer ces données de façon à ce qu'il puisse réaliser dans les meilleures conditions possibles les garanties de régulation imposées.

Ce système est le plus employé pour les petites centrales d'usines ne comportant qu'un alternateur; il permet une réalisation très compacte du groupe générateur.

Son inconvénient est l'influence sur la tension d'excitation des variations de vitesse de l'alternateur : il y a donc augmentation de la variation cinétique de tension. En outre l'excitatrice est quelquefois chère puisqu'elle doit tourner à la vitesse de l'alternateur.

c) *Excitatrice commandée par courroie* par l'alternateur. Selon que l'on utilise, ou non, une machine existante comme excitatrice, il faudra, ou non, donner au constructeur les caractéristiques de l'excitatrice.

L'excitatrice est moins chère que dans le cas précédent, puisque sa vitesse peut être beaucoup plus grande.

Par contre, il y a les mêmes inconvénients que dans le cas précédent, relativement à l'augmentation de la variation cinétique de tension. Ces inconvénients sont même augmentés, puisque le glissement de la courroie tend à augmenter lorsque la charge augmente.

Ce système n'est à employer que comme pis-aller ou comme moyen de fortune.

d) *Excitatrice intérieure.* Pour les petites puissances on construit des alternateurs à induit tournant, l'induit étant muni à la fois de bagues et d'un collecteur, et le système inducteur étant commun; la machine est donc auto-excitatrice.

L'inconvénient de ces machines est d'avoir une chute de tension exagérée pour les charges inductives.

TENSION. — Si la ligne de transport est à une tension de moins de 10.000 volts, on pourra produire directement cette tension par l'alternateur.

Au-dessus de 10.000 volts, on ne pourrait pas construire l'induit dans de bonnes conditions : on adopte alors la tension de 3.500 ou de 6.000 volts, et on emploie un transformateur. Dans le premier cas, la tension de l'alternateur sera la tension de distribution plus la chute de tension en ligne, que l'on devra évaluer aussi exactement que possible pour la puissance apparente normale.

Nous avons vu que dans les machines de série, on admet que la chute de tension est en moyenne égale à 10 p. 100.

Si cette chute de tension en ligne est plus considérable, il est bon de l'indiquer au cons-

tructeur, en lui donnant deux chiffres, la tension de distribution et la tension de la génératrice.

PUISSANCE APPARENTE, FACTEUR DE PUISSANCE DU RÉSEAU, INTENSITÉ DÉBITÉE, GENRE DE SERVICE, MODE DE REFROIDISSEMENT. — La *puissance* d'un alternateur doit être spécifiée en kva.; c'est en effet l'échauffement de l'induit qui est la limite principale à la puissance d'une machine, donc le nombre d'ampères que les enroulements peuvent supporter. Cependant cette indication ne suffirait pas, il faut indiquer quel est le *facteur de puissance* normal en pleine charge du réseau à alimenter; en effet un alternateur capable de débiter 100 kva. avec $\cos \varphi = 1$, ne débitera plus que, par exemple, 90 kva. sous $\cos \varphi = 0,6$, à cause de l'augmentation de la chute de tension provenant de l'effet démagnétisant de l'induit aux forts déphasages.

On admet couramment un facteur de puissance de 0,80 dans les séries normales des constructeurs.

Il est inutile de fixer la puissance active débitée en kw., puisqu'on la connaît parfaitement, étant donné la puissance apparente et le facteur de puissance.

$$P_{\text{act.}} = P_{\text{app.}} \times \cos \varphi$$

De même l'*intensité* est bien déterminée, connaissant la puissance apparente et la tension.

$$\text{Intensité} = \frac{P_{\text{app.}} \times 1.000}{\text{Tension} \times 1,73} \quad (\text{en triphasé}).$$

Comme toujours la fixation de la puissance est liée à la fixation du *genre de service*.

Quant au mode de *refroidissement*, ce sera le refroidissement naturel pour les puissances courantes, et un refroidissement artificiel à laisser au choix du constructeur pour les machines de grande puissance (gros turbo-alternateurs).

VITESSE. — On peut admettre trois catégories d'alternateurs suivant la vitesse :

a) Les *alternateurs lents* qui tournent à des vitesses de l'ordre de 100 à 250 tours/minute (60 à 24 pôles). Dans ces machines la couronne inductrice est très lourde; on les accouple directement à une machine à vapeur, et ils tiennent lieu de volant.

Leur inconvénient est leur poids et leur encombrement; en outre il faut souvent augmenter encore le poids du volant pour obtenir un coefficient d'irrégularité assez faible pour éviter la déformation du courant, par suite des variations de vitesse pendant un tour.

b) Les *alternateurs à moyenne vitesse* qui tournent de 300 à 1.000 tours (20 à 6 pôles), et qui sont destinés à être commandés par courroie par des machines lentes, telles que des machines à vapeur ou à gaz, ou directement par les machines à pistons à grande vitesse, machines à vapeur rapides, moteurs Diesel, etc.

Nous citerons, à titre d'exemple, une série commerciale qui comporte des alternateurs à

6 pôles	pour des puissances de	40 à 100 kva.
8	—	50 à 120 —
10	—	100 à 250 —

12 pôles pour des puissances de 130 à 300 kva.		
14 — — — —	—	150 à 400 —
16 — — — —	—	180 à 500 —
18 — — — —	—	200 à 550 —
20 — — — —	—	250 à 650 —

Ce genre de machines est celui qui convient le mieux pour les puissances jusqu'à 7 ou 800 kva. Elles sont relativement bon marché, l'encombrement est faible, la construction peut être robuste.

c) Les *alternateurs à grande vitesse*, qui sont destinés à constituer les turbo-groupes à vapeur : les vitesses normales sont 1.500 et 3.000 tours/minute selon la puissance.

Ces machines ont, pour des puissances de l'ordre de 1.000 kva et pour les puissances supérieures, un rendement excellent et l'encombrement, par suite de la grande vitesse, est réduit au minimum. Par contre leur construction est toute spéciale et doit être extrêmement soignée à cause de la violence des efforts qui se manifestent sous l'effet de la force centrifuge et des attractions électromagnétiques entre les conducteurs. Seuls des constructeurs spécialistes peuvent en entreprendre la fabrication.

On construit des turbo-groupes depuis 500 kva jusqu'à 25.000. Les constructeurs ont même dépassé ces limites pour les grosses centrales.

On peut aller jusqu'à 10.000 kva. avec la vitesse de 3.000. Au delà c'est la vitesse de 1.500 qui s'impose.

En somme, le turbo-groupe est le type qui s'impose pour les grosses puissances, toutes les fois que la vapeur est la force motrice choisie.

MODE DE PROTECTION. — La plupart des alternateurs sont du type ouvert ou protégé (la protection est alors surtout destinée à abriter le personnel des contacts accidentels avec les enroulements à haute tension).

MODE DE COMMANDE MÉCANIQUE. — Courroie ou accouplement direct. Indiquer les dimensions de la poulie ou du plateau.

ORGANES DE FIXATION. — Suivant le cas : tendeurs, glissières et boulons ou simplement boulons de fondation.

GRAISSAGE. — Paliers à bagues ou à billes. 2 ou 3 paliers.

Pour les turbo-alternateurs, dispositifs spéciaux de circulation et de refroidissement de l'huile.

Garanties. — Les garanties à imposer aux constructeurs sont relatives :

A la régulation;

Au rendement;

Aux possibilités de couplage en parallèle;

A la rigidité diélectrique des isolants;

A l'échauffement;

A l'emballement;

A la surcharge.

RÉGULATION. — La régulation est définie par l'élévation relative de tension, et par la variation cinétique de tension.

Ces coefficients s'entendent pour une valeur déterminée du *facteur de puissance*; ils augmentent en effet très vite lorsque le facteur de puissance diminue; on fixe généralement leurs valeurs pour $\cos \varphi = 1$ et pour $\cos \varphi = 0,80$.

L'élevation relative de tension peut avoir des valeurs très différentes selon la construction de la machine; il y a donc un choix à faire selon l'usage auquel on la destine.

Les machines à faible variation de tension ont une élévation de tension de l'ordre de

8 p. 100 pour $\cos \varphi = 1$

15 p. 100 pour $\cos \varphi = 0,80$.

Ces machines sont destinées à des installations d'usine où le réglage de la tension ne pourra pas être effectué constamment, ou bien lorsqu'on aura à fournir une tension très régulière (éclairage par exemple).

Leur inconvénient est que, en cas de court-circuit, la tension ne baisse pas rapidement, par conséquent le courant prend rapidement des valeurs dangereuses; la machine peut brûler avant que les appareils de protection fonctionnent.

En outre ces machines sont coûteuses, car il faut une excitation très largement calculée.

Les machines à grande variation de tension ont une élévation de tension, qui atteint

16 p. 100 pour $\cos \varphi = 1$

30 p. 100 pour $\cos \varphi = 0,80$.

Ces machines nécessitent un réglage constant de l'excitation, réglage qui immobilisera complètement un ouvrier.

Par contre, en cas de court-circuit sur le réseau, la tension baisse très rapidement et limite l'intensité du courant (intensité de court-circuit de l'ordre trois fois l'intensité normale). Ce seront les machines des grandes centrales où

la question des courts-circuits est primordiale, à cause de l'importance des unités, et où le réglage continu, à la main ou au régulateur, est de rigueur.

Ces machines sont notablement moins chères que les précédentes.

La *variation cinétique de tension* a une importance particulière dans les machines commandant elles-mêmes leurs excitatrices : sa valeur ne doit pas dépasser 3 ou 4, dans les conditions normales de fonctionnement.

On devra vérifier également que le *coefficient d'irrégularité* de l'ensemble constitué par l'alternateur et son moteur atteint une valeur suffisamment faible (de 1/200 à 1/400).

RENDEMENT. — Lorsqu'on parle de rendement, il est essentiel de bien spécifier sous quel *facteur de puissance* travaille la machine; on prend généralement $\cos \varphi = 1$ et $\cos \varphi = 0,80$.

Le rendement baisse en effet notablement avec le facteur de puissance.

Le rendement s'entend pour les valeurs normales de vitesse et de tension; il englobe dans les pertes tous les accessoires : rhéostats, excitatrice, etc.

Voici les valeurs des rendements à pleine charge pour $\cos \varphi = 1$ d'une série d'alternateurs.

kva.	t./m.	rendement p. 100
—	—	—
40	1.000	89
{ 54	1.000	89
{ 54	750	89
{ 80	1.000	90
{ 75	750	90

kva.	t./m.	rendement p. 100
—	—	—
{ 105	1.000	91
{ 95	750	90
{ 120	750	91
{ 110	600	91
{ 155	600	92
{ 130	500	92
{ 105	428	91
{ 200	600	92
{ 160	500	92
{ 135	428	92
{ 240	600	92
{ 200	500	92
{ 170	428	92
{ 250	500	92
{ 210	428	92
{ 180	375	92
{ 305	500	92
{ 255	428	92
{ 220	375	92
{ 325	428	92
{ 275	375	92
{ 240	333	92
{ 210	300	92
{ 400	428	92,5
{ 350	375	92,5
{ 310	333	92,5
{ 285	300	92,5
{ 440	375	93
{ 385	333	93
{ 365	300	93

kva.	t./m.	rendement p. 100
—	—	—
{ 535	375	93
{ 465	333	93
{ 445	300	93
{ 560	333	93
{ 540	300	93
650	300	93,5

Les lignes réunies par une accolade correspondent à une même carcasse, avec des nombres de pôles différents.

POSSIBILITÉS DE COUPLAGE EN PARALLÈLE. —

Le couplage de deux alternateurs ou d'un alternateur et d'un réseau n'est pas toujours possible. Pour qu'il puisse s'effectuer et qu'il soit stable, il faut :

a) Que le *coefficient d'irrégularité* des groupes à mettre en parallèle soit le plus petit possible, de l'ordre de $1/400$. Sans quoi en effet, il se produirait à certains moments une augmentation de vitesse d'une machine par rapport à l'autre, ce qui tendrait à rompre le synchronisme. C'est ce qui arrive parfois, lorsqu'on veut mettre en parallèle un groupe turbo, par exemple, où la vitesse ne varie pas pendant un tour et une machine à mouvement alternatif, où la vitesse varie pendant un tour suivant la position de la bielle.

b) Que la *forme du courant* produit par chaque alternateur soit aussi semblable que possible, ce qui revient à avoir le même nombre d'encoches à l'induit par pôle. Sans quoi, il se produirait des échanges d'énergie entre les

alternateurs, pouvant amener des oscillations, des surtensions et des décrochages.

c) Que la *chute de tension* soit autant que possible du même ordre de grandeur. Sans quoi le couplage se ferait bien, mais il se produirait des échanges d'énergie dévattée entre les deux alternateurs, dont l'un marcherait dans des conditions peu économiques.

Le rapport de l'intensité de court-circuit à l'intensité normale doit être du même ordre de grandeur dans les différents alternateurs, condition qui se ramène sensiblement à la précédente. En cas de surcharge exagérée du réseau, il faut que tous les alternateurs se partagent la charge, ce qui n'arriverait pas si les intensités de court-circuit étaient très différentes.

En somme, lorsqu'on commande un alternateur devant pouvoir être couplé en parallèle avec un alternateur existant, il faut donner au constructeur toutes les caractéristiques de cet alternateur, et même l'inviter à venir faire les mesures qui seraient nécessaires, afin qu'il puisse garantir un fonctionnement parfait du couplage.

On améliore beaucoup la marche en parallèle des alternateurs par l'emploi d'*amortisseurs*, constitués par une cage d'écureuil placée dans la partie tournante; en cas de rupture du synchronisme, il se produit, entre l'inducteur et cette cage d'écureuil, un couple tendant à faire fonctionner l'alternateur soit en moteur, soit en génératrice asynchrone et à rétablir le synchronisme.

En principe, des alternateurs devant fonc-

tionner en parallèle devront toujours être munis d'amortisseurs; c'est beaucoup plus sûr.

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS (Voir chapitre premier.) — Le point délicat est le circuit inducteur; en effet en cas de rupture accidentelle de ce circuit, il s'y développe par induction des tensions extrêmement élevées; c'est pourquoi les conditions que nous donnons au chapitre premier sont particulièrement sévères pour cet enroulement.

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier.)

EMBALLEMENT. — L'emballement peut se produire lorsqu'on commande l'alternateur par une machine sans régulateur.

On impose généralement une élévation de vitesse de 20 p. 100 pendant 15 minutes, sans déformation permanente.

SURCHARGE. — On admet une surcharge correspondant à une surintensité de 50 p. 100 pendant 5 minutes, la tension étant aussi voisine que possible de la normale. Il ne doit pas se produire de déformation.

4. Moteur synchrone

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification d'un moteur synchrone sont:

- Le nombre de phases et la fréquence;
- Le système et les caractéristiques d'excitation;
- La tension d'alimentation;
- La puissance mécanique et la puissance réac-

tive, le facteur de puissance, l'intensité, le genre de service, le mode de refroidissement;

La vitesse;

Le mode de protection;

Le mode de commande mécanique;

Le procédé de démarrage;

Les organes de fixation;

Le graissage.

NOMBRE DE PHASES ET FRÉQUENCE. — Ce sont des données du réseau sur lequel on doit monter le moteur.

SYSTÈME ET CARACTÉRISTIQUES D'EXCITATION. — Ce sont les mêmes que pour les alternateurs.

a) *Excitatrice spéciale* pour un moteur ou un groupe de moteurs, cette excitatrice étant commandée elle-même par un moteur spécial. Ce système ne présente pas d'intérêt, car il est exceptionnel que les moteurs soient groupés suffisamment près pour faire admettre un réseau spécial d'excitation.

b) *Excitatrice en bout d'arbre*. C'est le cas général. L'inconvénient noté pour les alternateurs et relatif aux variations de vitesse de l'excitatrice n'existe plus puisque la vitesse est réglée par la fréquence du réseau.

c) *Excitatrice commandée par courroie*. Il faudra donner au constructeur les caractéristiques de l'excitatrice que l'on veut utiliser.

Ce système n'est pas recommandable, car si la courroie saute accidentellement, le moteur se décroche, tout en restant sur le réseau, ce qui peut être grave.

d) *Excitatrice intérieure*. Système peu usité,

les moteurs synchrones industriels étant toujours des moteurs puissants.

TENSION D'ALIMENTATION. — C'est la tension de distribution. On construit jusqu'à 10.000 volts; au delà, il faut employer un transformateur.

PUISSANCE MÉCANIQUE ET PUISSANCE RÉACTIVE, FACTEUR DE PUISSANCE, INTENSITÉ, GENRE DE SERVICE, MODE DE REFROIDISSEMENT. — On peut employer un moteur synchrone pour répondre à plusieurs buts bien différents:

a) Pour produire de la *puissance mécanique*, c'est-à-dire comme moteur proprement dit. Alors c'est la puissance mécanique disponible sur l'arbre qui sera fixée.

Cette puissance peut être produite avec des facteurs de puissance variables, suivant la valeur de l'excitation; c'est la propriété fondamentale des moteurs synchrones. On fixera donc la valeur du facteur de puissance correspondant aux conditions normales de charge et d'excitation; comme on a tout intérêt à profiter des propriétés du moteur synchrone de pouvoir fonctionner avec un facteur de puissance égal à 1, ce sera presque toujours cette valeur qui sera fixée.

Il n'est pas nécessaire de spécifier l'intensité; elle sera connue lorsqu'on aura la puissance sur l'arbre, le rendement, le facteur de puissance et la tension.

b) Pour *améliorer le facteur de puissance* d'un réseau. On sait qu'un moteur synchrone tournant à vide et convenablement surexcité peut produire un courant décalé en avant de

la tension qui aura comme effet d'augmenter le facteur de puissance du réseau. Ce n'est alors plus, à proprement parler, un moteur, mais plutôt un *condensateur synchrone* (fig. 40).

Il n'y a pas de puissance mécanique produite, mais transformation de courant décalé en arrière de la tension en courant décalé en avant, c'est-à-dire production de courant réactif.

On spécifiera alors la puissance réactive

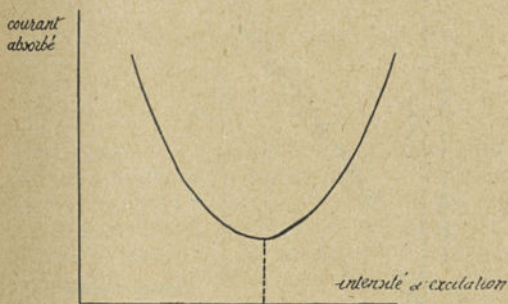


FIG. 40. — Courbe en V d'un moteur synchrone. Variations du courant absorbé en fonction du courant d'excitation.

égale à la puissance réactive à fournir. Le $\cos \varphi$ étant égal à 0, aux pertes près, on peut encore admettre que l'on spécifie la puissance apparente sous un facteur de puissance égal à 0.

On dira par exemple, si on doit compenser 300 unités réactives du réseau, qu'il faut y installer un condensateur synchrone de 300 unités réactives, ou de 300 kva. apparents sous $\cos \varphi = 0$.

L'intensité sera déterminée, connaissant la tension.

c) Enfin, dans le cas le plus général, on cherchera à la fois à produire de la *puissance mécanique* sur l'arbre et à relever le *facteur de puissance* du réseau.

On devra alors spécifier la puissance méca-

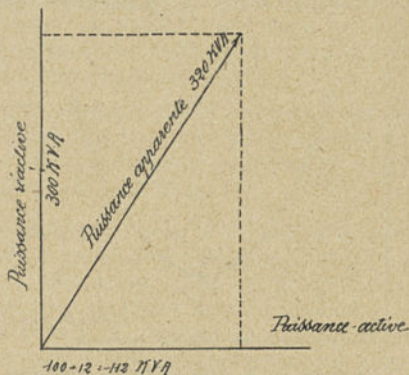


FIG. 41. — Construction graphique pour le calcul de la puissance nécessaire à un moteur synchrone.

nique disponible sur l'arbre et la puissance réactive à fournir au réseau.

La détermination de la *puissance apparente* sera alors très simple si on connaît les pertes du moteur (fig. 41).

Supposons un moteur fournissant une puissance mécanique de 100 kw. et une puissance réactive de 300 unités. Supposons les pertes égales à 12 kw.

On aura :

$$\begin{aligned} \text{Puissance active} & 100 + 12 = 112 \text{ kw.} \\ \text{— réactive} & 300 \text{ —} \\ \text{— apparente} & \sqrt{300^2 + 112^2} = 320 \text{ kva.} \end{aligned}$$

Sous 2.000 volts triphasés, l'intensité sera donc :

$$\frac{300 \times 1.000}{2.000 \times 1,73} = 92,5 \text{ amp.}$$

Le facteur de puissance serait de

$$\frac{112}{320} = 0,35$$

Remarque. — La puissance apparente maximum admissible d'un même moteur fonctionnant soit comme moteur proprement dit, soit comme condensateur synchrone, est plus petite aux faibles facteurs de puissance, à cause de l'augmentation du courant d'excitation nécessaire. Un moteur capable de fournir 300 kva. sous $\cos \varphi = 0,80$ n'en pourra fournir, sans échauffement anormal de l'excitation, plus de 225 par exemple sous $\cos \varphi = 0,20$.

Lorsqu'on veut donc faire fonctionner un moteur synchrone existant (ou un alternateur, c'est la même chose) comme condensateur synchrone, il faudra se renseigner auprès du constructeur pour savoir ce qu'il est capable de produire sous $\cos \varphi = 0$; c'est toujours une valeur bien inférieure à la valeur correspondant à la marche en moteur ou en alternateur.

Le *genre de service* sera bien entendu toujours défini en même temps que la puissance; les moteurs synchrones ne fonctionnant bien

que sous une charge à peu près régulière, ce sera presque toujours le service continu.

Le mode de refroidissement sera, comme pour les alternateurs, naturel pour les faibles puissances, artificiel pour les très grandes puissances.

VITESSE. — Ce sont les mêmes valeurs que pour les alternateurs. Les moteurs synchrones destinés uniquement à améliorer le facteur de puissance seront toujours prévus pour le plus petit nombre de pôles, c'est-à-dire la plus grande vitesse possible, par raison d'économie, et de moindre encombrement, puisqu'il n'y a pas ici de sujétion de vitesse de commande.

MODE DE PROTECTION. — Les moteurs synchrones étant presque toujours dans des locaux spéciaux, c'est le type ouvert ou protégé qui est le plus fréquent.

MODE DE COMMANDE MÉCANIQUE. — Par courroie ou accouplement direct. Donner les dimensions de la poulie ou du plateau d'accouplement. Le démarrage se faisant à vide, il y aura lieu généralement de prévoir un dispositif de débrayage et d'embrayage.

Lorsqu'on n'utilise pas la puissance mécanique, on laisse le bout d'arbre nu.

PROCÉDÉ DE DÉMARRAGE. — Le démarrage d'un moteur synchrone est assez délicat, c'est un de ses gros désavantages. Il se fait toujours à vide.

a) *Démarrage par moteur auxiliaire.* Un moteur asynchrone attelé en bout d'arbre ou par courroie, capable de donner une vitesse au

moins égale à la vitesse de synchronisme du moteur synchrone, et muni d'un rhéostat de réglage de vitesse sur le rotor, permet d'amener la machine au voisinage de la vitesse de synchronisme. On couple alors au moyen de lampes de phases ou d'un synchronoscope, comme dans le cas d'un alternateur (fig. 42).

Ce système est cher, puisqu'il faut un moteur

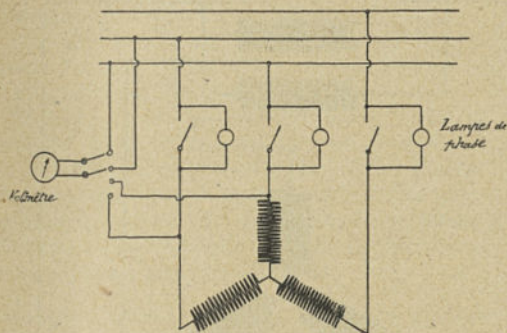


FIG. 42. — Montage pour le couplage d'un moteur synchrone ou d'un alternateur avec lampes de phase.

spécial, relativement puissant, si on veut que l'opération ne soit pas trop longue.

b) *Démarrage par l'excitatrice.* Il faut avoir une excitatrice suffisamment puissante, et une batterie d'accumulateurs. On fait alors le démarrage par l'excitatrice fonctionnant en moteur. Il est assez rare qu'on dispose d'une batterie d'accumulateurs convenable.

c) *Démarrage en asynchrone.* Ce cas s'applique aux machines munies d'amortisseurs ou tout

au moins de pôles inducteurs non feuilletés. On

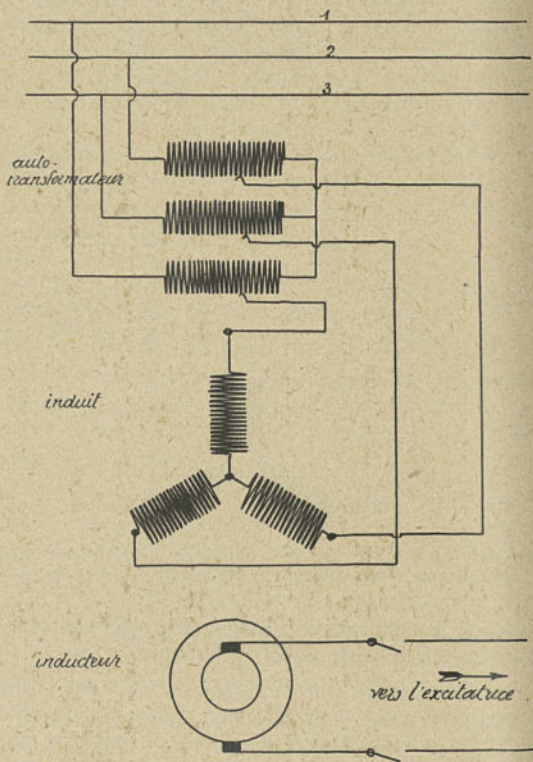


FIG. 43. — Montage pour le démarrage d'un moteur synchrone en asynchrone.

utilise alors le courant induit produit dans la cage d'écuréuil constituée par l'amortisseur, ou

les courants de Foucault produits dans les pôles pour démarrer le moteur en l'alimentant par l'induit au moyen du courant du réseau, comme un moteur asynchrone, l'excitation étant coupée ou en court-circuit.

Afin d'éviter un appel de courant intense au moment du démarrage, on met la tension progressivement au moyen d'un rhéostat ou d'un auto-transformateur (fig. 43).

Lorsque la vitesse est voisine du synchronisme, on met l'excitation, et le moteur s'accroche automatiquement.

Ce procédé est le plus simple de tous, et il s'impose lorsque le moteur est pourvu d'un enroulement amortisseur. En monophasé, il n'est possible que si le moteur possède un enroulement spécial de démarrage sur l'induit, analogue à l'enroulement de démarrage des moteurs asynchrones monophasés.

ORGANES DE FIXATION. — Tendeurs, glissières et boulons, ou simplement boulons.

GRAISSAGE. — Par bagues ou billes, 2 ou 3 paliers.

Garanties. — Les garanties sont relatives :

- Au rendement;
- Aux possibilités de couplage;
- A la rigidité diélectrique;
- A l'échauffement;
- A l'emballement;
- Au couple maximum.

RENDEMENT. — On ne peut raisonnablement parler de rendement, que dans le cas où c'est uniquement la puissance mécanique du moteur

que l'on veut utiliser. Les rendements s'entendent alors à tension et fréquence constantes, pour le $\cos \varphi$ normal. Ils ont des valeurs du même ordre de grandeur que ceux des alternateurs.

Lorsqu'on utilise le moteur comme condensateur synchrone, complètement ou partiellement, il est plus logique de ne pas parler de rendement, puisqu'on ne peut pas comparer des kw. avec des kva. On se contente alors de fixer la valeur des *pertes* du moteur, pour tension, fréquence et régime de puissance active et réactive déterminées.

On dira par exemple qu'un moteur fonctionnant au régime

Puissance sur l'arbre.....	100 kw.
Puissance réactive	300 —
2.000 volts, 50 périodes.	

a 12 kw. de pertes.

Pour fixer les idées, disons qu'un moteur synchrone fonctionnant en condensateur synchrone, c'est-à-dire sous $\cos \varphi = 0$ a pour pertes un nombre de kw. égal à 4 à 5 p. 100 de la puissance apparente du moteur.

POSSIBILITÉS DE COUPLAGE. — Comme pour un alternateur, il faut réaliser certaines conditions pour que le couplage soit possible:

a) Faible valeur du *coefficient d'irrégularité* des machines couplées, alternateur et moteur synchrone. C'est pourquoi il vaudra toujours mieux actionner par moteur synchrone des machines rotatives: pompes centrifuges, ventilateurs, que des machines à mouvements alternatifs, à moins d'avoir un volant très lourd.

b) *Identité de forme du courant.* Il faudra prendre si possible un moteur dont l'induit a le même nombre d'encoches par pôle, que les alternateurs du réseau.

c) La question de la variation de tension n'a ici plus d'importance.

En général, avec les machines modernes pourvues d'*amortisseurs*, le couplage réussit presque toujours. Il sera cependant bon de demander des garanties au constructeur, en lui donnant les caractéristiques des alternateurs du réseau.

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS (Voir chapitre premier.) — L'isolation du circuit inducteur est très importante pour les moteurs devant démarrer les inducteurs ouverts (en asynchrones); en effet, il se produit par induction des tensions considérables qui peuvent rompre l'isolant.

On doit souvent séparer en plusieurs sections ce circuit pendant la mise en vitesse pour éviter tout danger.

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier.)

EMBALLEMENT. — L'emballement n'est à craindre que si le moteur commande une machine capable de fonctionner en moteur, ce qui est exceptionnel. On admettrait alors un excès de vitesse de 20 p. 100 pendant 15 minutes, sans déformation permanente.

COUPLE MAXIMUM. — Le moteur étant synchrone, le couple est proportionnel à la puissance. Il suffira donc de donner la limite de la

puissance maximum que l'on pourra demander au moteur.

Toute augmentation brusque du couple tend à ralentir le moteur, donc à le décrocher et à supprimer le couple. On ne devra donc utiliser le moteur synchrone que pour la commande de machines très régulières, où le couple ne dépasse jamais la valeur correspondant à la puissance normale. Sinon on serait conduit à prendre un moteur fonctionnant à une faible fraction de sa puissance maxima, avec une excitation surabondante.

Il faudra en tout cas indiquer au constructeur la nature de la machine à conduire, avec la limite maximum de la puissance que cette machine ne dépassera jamais.

5. Moteur asynchrone

Nous entendons par le terme de moteur asynchrone les moteurs d'induction, à champ tournant ou à champ alternatif, sans collecteur.

Les moteurs à collecteur sont aussi des moteurs asynchrones, mais nous en parlerons dans un paragraphe spécial.

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification d'un moteur asynchrone sont :

Le nombre de phases et la fréquence;

La tension d'alimentation;

La puissance mécanique, l'intensité, le genre de service, le mode de refroidissement;

La vitesse;

Le mode de protection;

Le mode de commande mécanique;
La nature du rotor et le procédé de démarrage;
La tension entre bagues;
Les organes de fixation;
Le graissage.

NOMBRE DE PHASES ET FRÉQUENCE. — Ce sont des données du réseau.

TENSION D'ALIMENTATION. — C'est la tension de distribution. On peut construire jusqu'à 10.000 volts; au delà, on emploie un transformateur.

Les moteurs haute tension ne sont avantageux qu'à partir d'une certaine puissance, de l'ordre de 100 kw. Pour les petites puissances, le moteur haute tension serait aussi cher que le moteur basse tension avec son transformateur, et le rendement ne serait pas sensiblement meilleur, à cause de la mauvaise utilisation de la matière provenant de l'encombrement des isolants.

Il y a lieu de fixer avec autant de précision que possible la tension d'alimentation, car les propriétés des moteurs: couple facteur, de puissance, rendement et vitesse varient dans des proportions importantes avec la tension.

Si on alimente un moteur construit pour une tension déterminée, à une tension inférieure, le couple diminue comme le carré de la tension. Si le couple résistant est constant, la vitesse va baisser et l'intensité va augmenter. Il y a donc diminution de la puissance produite et augmentation des pertes par effet Joule, c'est-à-dire diminution du rendement.

Si, au contraire, on l'alimente à une tension

supérieure à sa tension de régime, le couple augmente, d'où augmentation de la vitesse, La puissance produite tend à augmenter, mais les pertes dans le fer augmentent, ainsi que le courant dévatté. Donc le rendement diminue et le facteur de puissance aussi.

Il faut donc choisir la tension moyenne du réseau, comme tension normale du moteur. Mais, d'autre part, on a intérêt à prendre les tensions normales du constructeur, qui permettent l'emploi des machines de série.

La conclusion est donc la nécessité, si on veut marcher dans de bonnes conditions, d'utiliser une tension aussi régulière que possible.

PUISSANCE MÉCANIQUE, INTENSITÉ DU COURANT ABSORBÉ, GENRE DE SERVICE, MODE DE REFROIDISSEMENT. — La *puissance mécanique* sur l'arbre des moteurs asynchrones peut être quelconque : on construit depuis 1/10 de kw. jusqu'à plusieurs milliers de kw.

L'*intensité* n'a pas besoin d'être donnée puisqu'elle est connue lorsqu'on a la puissance, la tension, le facteur de puissance, et le rendement.

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Puissance en kw.} \times 1.000}{\text{Tens.} \times \text{Rendem.} \times \text{Cos } \varphi \times 1,73}$$

(en triphasé).

L'indication de la puissance s'accompagne naturellement de la fixation du genre de *service de la machine*.

Le *mode de refroidissement* sera naturel dans les machines ouvertes courantes. Dans les machines demi-fermées, on emploie généralement un petit ventilateur en bout du rotor.

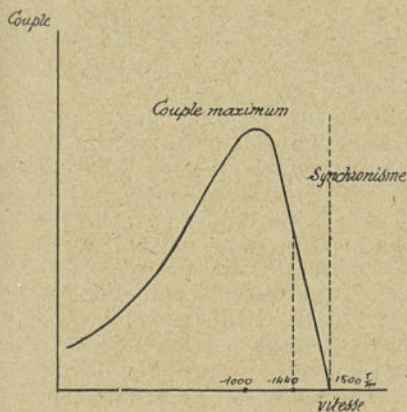


FIG. 44. — Moteur asynchrone.
Diagramme du couple en fonction de la vitesse
pour un moteur à 1.500 tours.

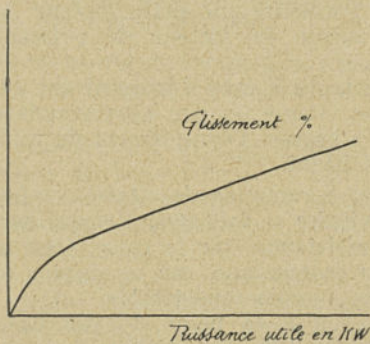


FIG. 45. — Moteur asynchrone.
Diagramme du glissement en fonction de la puissance.

VITESSE. — La vitesse sera égale à la vitesse synchrone correspondant au nombre de pôles de l'enroulement, moins la chute de vitesse due au *glissement* (fig. 44 et 45).

Le glissement varie de 3 à 7 p. 100. Les bonnes machines ont un glissement très faible, ce qui correspond à une très faible dissipation d'énergie dans le rotor. Cependant, on a quelquefois intérêt à avoir un fort glissement, pour des machines à coups de collier; on profite alors de l'emballement produit par quelques secondes de marche à vide, pour vaincre un couple résistant momentané, mais important : laminoirs, machines à bois. Le rotor est alors résistant.

Pour des raisons de facilité de construction, on fait généralement les moteurs de petite puissance à petit nombre de pôles, c'est-à-dire à grande vitesse, les moteurs importants à grand nombre de pôles, c'est-à-dire à faible vitesse. D'ailleurs un petit moteur à faible vitesse aurait un facteur de puissance très mauvais.

Les moteurs à cage d'écurie ont généralement une vitesse un peu plus grande que les moteurs à bagues, l'enroulement du rotor étant moins résistant.

Moteurs à variation de vitesse. — La variation de vitesse se fait généralement par insertion de résistances sur le rotor. C'est un procédé peu économique, car on dissipe en pure perte une énergie considérable.

Il est bon à ce point de vue de ne pas dépasser 25 p. 100 comme limite de la variation de vitesse.

Si on doit faire plus, il y a lieu d'examiner

si on ne pourrait pas s'en tirer autrement, par exemple par changement du nombre de pôles ou par l'emploi d'un moteur à collecteur.

En tous cas, il faudra indiquer les limites extrêmes de vitesse que l'on désire atteindre, et le nombre de positions intermédiaires dont on peut avoir besoin, afin de fixer les caractéristiques du rhéostat.

MODE DE PROTECTION. — Les organes des moteurs asynchrones étant particulièrement robustes, il est possible d'employer le type ouvert, là où un moteur continu devrait être du type fermé, à cause de son collecteur. Toutefois, si la position du moteur est particulièrement exposée, il faudra employer le type fermé.

MODE DE COMMANDE MÉCANIQUE. — Par courroie, accouplement direct, engrenages ou plateau de friction. Donner les dimensions de la poulie, du plateau d'accouplement, la démultiplication des engrenages, etc.

NATURE DU ROTOR ET PROCÉDÉ DE DÉMARRAGE. — On sait qu'un rotor de moteur asynchrone peut être :

a) *En court-circuit* ou *cage d'écureuil*. Les enroulements du rotor sont alors continuellement fermés sur eux-mêmes : la construction est très robuste, le rendement et le facteur de puissance excellents.

Mais le démarrage est assez délicat : il faut en effet mettre directement sur le moteur la tension du réseau, ce qui produit un appel de courant considérable, de l'ordre de quatre fois le courant de charge normal.

Si on doit démarrer en charge, il ne faudra

appliquer ce système que jusqu'à 2 kw. au maximum.

Si on démarre à vide on pourra aller jusqu'à 3 et 4 kw., à condition que le réseau le tolère.

Pour diminuer l'appel de courant on emploie quelquefois en triphasé la disposition en *étoile-triangle* : les 6 extrémités des enroulements sont sorties, le moteur est enroulé pour la marche normale en triangle. Au moyen d'un

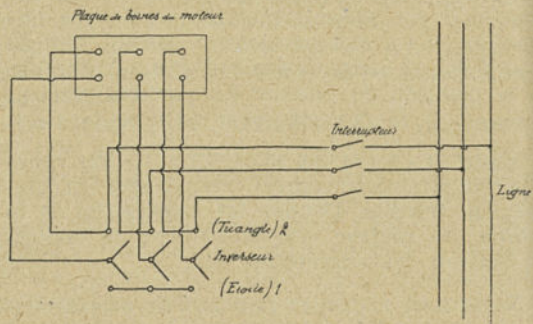


FIG. 46. — Moteur asynchrone.
Dispositif de démarrage étoile-triangle.

commutateur spécial, on met d'abord les enroulements en étoile, ce qui fait que c'est une tension réduite de $\frac{1}{1,73}$ qui se trouve appliquée aux extrémités des phases. Une fois le moteur lancé, on met les enroulements en triangle, et le moteur est dans ses conditions normales (fig. 46).

On a construit ainsi des moteurs jusqu'à

15 kw., lorsqu'ils doivent démarrer à vide et très rarement.

Enfin pour certains gros moteurs, où on tient particulièrement à la construction en cage d'écurieil, on met la tension du réseau sur le moteur progressivement au moyen d'un *auto-transformateur*. Mais on préfère généralement un rotor à bagues.

b) *A bagues*. Le rotor est alors enroulé comme un stator, et les extrémités des enroulements aboutissent à 3 bagues sur lesquelles frottent 3 balais.

Pour démarrer, on interpose entre les balais des résistances, qui ont pour effet d'augmenter le glissement du moteur, et par conséquent son couple; on diminue progressivement ces résistances et on les met finalement en court-circuit (fig. 47).

L'inconvénient est le frottement continu des balais, qui crée une résistance passive; en outre la résistance du rotor est assez élevée. Par contre on peut démarrer sans excès de courant, et en charge très progressivement: il suffit de fractionner suffisamment la résistance.

Ce système s'applique lorsqu'on doit démarrer *souvent* et avec un couple résistant important.

c) *A bagues avec dispositif de court-circuitage des bagues*. C'est le système précédent auquel on a ajouté un dispositif permettant, lorsque le moteur est en vitesse, de court-circuiter les bagues en même temps que l'on relève les balais. Le frottement des balais est donc supprimé, mais au prix d'une manœuvre supplémentaire.

Ce dispositif s'appliquera donc lorsque les démarrages ne sont pas très fréquents, et qu'il y aura toujours quelqu'un auprès du moteur pour faire la manœuvre sans erreur.

Dans les moteurs *monophasés*, ces différents

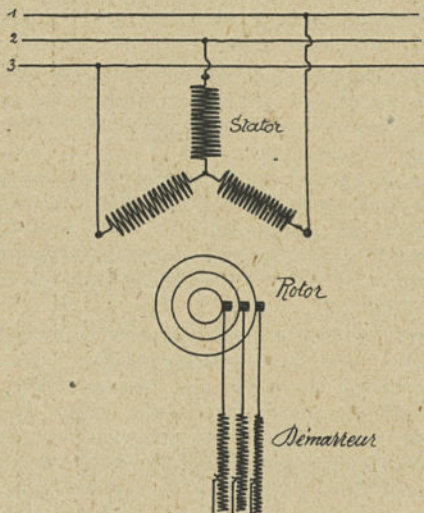


FIG. 47. — Moteur asynchrone.
Démarrage par insertion de résistance dans le rotor.

procédés ne s'appliqueraient pas; il ne se produit pas au repos de champ tournant capable de faire démarrer le rotor. On doit alors mettre un enroulement *auxiliaire* dans les encoches du stator, enroulement alimenté par une dérivation du courant principal passant à travers une

réactance ou bobine de self. Cette réactance a pour effet de décaler le courant de l'enroulement auxiliaire, qui constitue alors avec l'enroulement principal un champ tournant capable de faire démarrer le rotor à vide : une fois en vitesse, on supprime le courant dans l'enroulement auxiliaire (fig. 48).

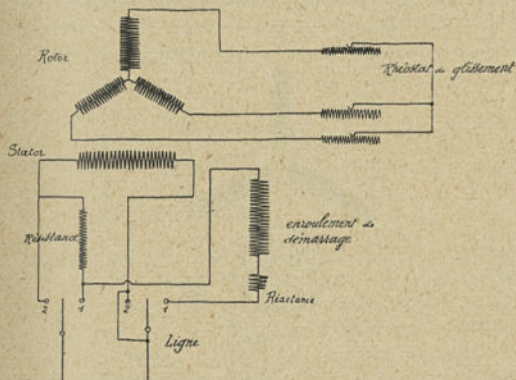


FIG. 48. — Dispositif de démarrage pour un moteur asynchrone monophasé.

TENSION ENTRE BAGUES. — C'est, pour un moteur à rotor bobiné, la tension entre les bagues du rotor, le moteur étant au repos, les bagues isolées les unes des autres, et le stator alimenté à la tension normale (fig. 49).

Généralement la tension entre bagues est plus faible que la tension au rotor; on a en effet intérêt à bobiner le rotor avec des conducteurs de grosse dimension, mais peu de

spires. Pour les moteurs courants à 115/200, la tension entre bagues est de l'ordre de 30 à 40 volts.

La connaissance de la tension entre bagues est nécessaire pour déterminer le rhéostat de démarrage : un rhéostat est bien défini lors-

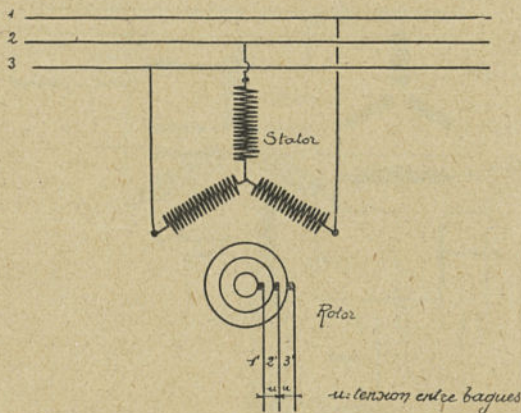


FIG. 49. — Tension entre les bagues d'un moteur asynchrone.

qu'on connaît la tension entre bagues et la puissance du moteur. Cette donnée sera donc à imposer ou à demander au constructeur lorsque le fournisseur du rhéostat sera différent du fournisseur du moteur.

Au contraire lorsque le moteur sera vendu avec le rhéostat, on pourra la laisser à la discrétion du vendeur.

ORGANES DE FIXATION. — Tendeurs, glissières et boulons ou simplement boulons. Spécifier si le moteur doit être posé sur le sol ou en applique contre un mur ou au plafond.

GRAISSAGE. — Paliers à bagues ou à billes. 2 ou 3 paliers.

Garanties. — Les garanties à considérer sont relatives :

- A la régulation;
- Au rendement;
- Au facteur de puissance;
- A la rigidité diélectrique;
- A l'échauffement;
- A l'emballement;
- Au couple maximum.

RÉGULATION. — La régulation est caractérisée par la *chute relative de vitesse* ou, ce qui revient au même, la vitesse à vide étant sensiblement égale à la vitesse synchrone, par le *glissement*. Nous avons vu quelles étaient les valeurs normales du glissement. Dans les machines normales on ne dépasse guère 6 p. 100.

Les machines à grand glissement ne s'appliquent qu'aux cas où on a des couples résistants exceptionnels à vaincre par moments.

RENDEMENT. — Le rendement s'entend à tension et fréquence égales à la normale.

Il est intéressant pour les grosses machines de connaître les rendements à $1/4$, $1/2$, $3/4$, $4/4$ et $5/4$ de charge, surtout si elles doivent souvent fonctionner à charge réduite (fig. 50).

Voici les rendements à pleine charge d'une série de moteurs :

kw.	chev.	pôles	rendement 0/0
—	—	—	—
0,75	1	4	81
3	4	4	85
7,5	10	4	87
18,4	25	6	85
13,2	18	8	84
33	45	6	86
22	30	8	85
55	75	8	88
36,8	50	10	86
88	120	10	89
62,5	85	12	89
147	200	14	91
110	150	16	91
206	280	14	91
147	200	16	91

Les rendements sont meilleurs pour les grandes vitesses que pour les petites.

FACTEUR DE PUISSANCE. — Les moteurs asynchrones ont toujours un facteur de puissance plus petit que 1. C'est leur inconvénient fondamental.

Le facteur de puissance est maximum en charge normale, c'est pourquoi il faut toujours utiliser ces moteurs dans le voisinage de cette charge. Il s'entend à tension et fréquence normales.

Il est intéressant de connaître les facteurs de puissance aux charges réduites, tout au moins dans les moteurs importants. La caractéristique d'une bonne construction est en effet la faiblesse des variations du facteur de puissance, lorsque la charge varie (entrefer

très faible, tôles calculées largement) (fig. 50).

Les moteurs à grande vitesse ont un meilleur facteur de puissance que ceux à faible vitesse.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs minima du facteur de puissance imposées par l'Union des Syndicats de l'Electricité, pour des

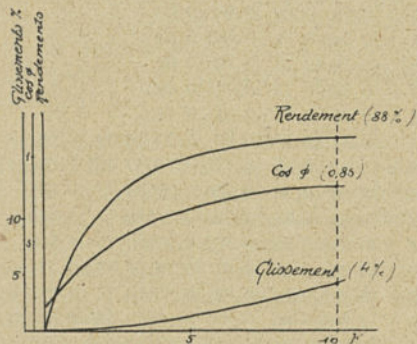


Fig. 50. — Moteur asynchrone.

Diagrammes de rendement, de facteur de puissance et de glissement aux différentes charges.

moteurs triphasés, de tension inférieure à 550 volts, ouverts, à marche continue, alimentés à leur tension normale.

Pour des moteurs à haute-tension, les facteurs de puissance seraient de 2 à 3 centièmes en moins.

Pour des moteurs monophasés, il faudrait diminuer ces chiffres de 3 à 5 centièmes.

PUISSANCE UTILE SUR L'ARBRE		2	4	6	8	10	12	14	16
en kw.	en ch.	pôles	pôles	pôles	pôles	pôles	pôles	pôles	pôles
0.20	0.25	0.70	0.68	0.60	»	»	»	»	»
0.35	0.5	0.72	0.69	0.63	0.60	»	»	»	»
0.75	1	0.745	0.71	0.665	0.63	»	»	»	»
1.5	2	0.78	0.74	0.70	0.67	»	»	»	»
2.2	3	0.795	0.76	0.725	0.695	»	»	»	»
3	4	0.81	0.775	0.745	0.715	»	»	»	»
3.5	5	0.815	0.785	0.76	0.73	0.69	0.64	»	»
5	6.5	0.825	0.80	0.775	0.745	0.715	0.655	»	»
6	8	0.835	0.81	0.785	0.755	0.73	0.67	»	»
7.5	10	0.84	0.82	0.795	0.765	0.74	0.685	»	»
9	12	0.845	0.825	0.805	0.775	0.75	0.695	»	»
11	15	0.85	0.835	0.81	0.78	0.755	0.71	»	»
14	20	0.855	0.845	0.82	0.795	0.77	0.735	0.71	0.685
18	25	0.865	0.85	0.83	0.805	0.785	0.75	0.725	0.70
22	30	0.865	0.855	0.835	0.815	0.795	0.765	0.74	0.715
30	40	0.87	0.86	0.845	0.83	0.81	0.78	0.76	0.735
35	50	0.875	0.865	0.85	0.835	0.82	0.80	0.78	0.755
45	60	0.88	0.87	0.855	0.84	0.825	0.81	0.79	0.77
55	75	0.885	0.875	0.86	0.85	0.835	0.82	0.815	0.785
75	100	0.885	0.88	0.87	0.855	0.845	0.83	0.82	0.80
90	125	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.81
110	150	0.89	0.885	0.875	0.865	0.86	0.845	0.835	0.82
130	175	0.89	0.885	0.875	0.87	0.86	0.85	0.84	0.825
150	200	0.89	0.885	0.88	0.87	0.865	0.85	0.84	0.83
160	225	0.89	0.885	0.88	0.87	0.865	0.855	0.845	0.83
180	250	0.89	0.885	0.88	0.87	0.865	0.855	0.845	0.83
200	275	0.89	0.885	0.88	0.87	0.865	0.855	0.845	0.83
225	300	0.89	0.885	0.88	0.875	0.87	0.855	0.845	0.83
300	400	0.89	0.885	0.88	0.875	0.87	0.855	0.85	0.83
450	600	0.89	0.885	0.88	0.875	0.87	0.86	0.855	0.835

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ENROULEMENTS
(Voir chapitre premier).

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier).

EMBALLLEMENT. — Un moteur asynchrone ne peut s'emballer que s'il est couplé avec une machine susceptible de s'emballer elle-même sous l'action d'un couple extérieur. Dans ce cas spécial, on imposera un excès de vitesse de 20 p. 100 pendant 15 minutes, sans déformation permanente.

COUPLE MAXIMUM. — C'est une garantie très importante. En effet si on dépasse ce couple maximum, le moteur ralentit puis décroche.

Dans les applications spéciales où l'on aura à craindre cet accident, on exigera un couple maximum de 2 ou 2,5 fois le couple normal. Cela conduit à des moteurs chers et de mauvais rendement.

Pour les applications courantes, on se contentera de 1,5 fois le couple normal (fig. 44).

Pour les moteurs monophasés, il serait difficile d'arriver à ce chiffre. On se contente généralement de 1,2 fois le couple normal.

6. Moteur à collecteur. Choix entre les différents systèmes de moteurs à courant alternatif.

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification d'un moteur à collecteur sont :

- Le nombre de phases et la fréquence;
- Le système;

- La tension d'alimentation;
- La puissance mécanique, l'intensité, le genre de service, le mode de refroidissement;
- La vitesse;
- Le mode de protection;
- Le mode de commande mécanique;
- Le procédé de démarrage;
- Les organes de fixation;
- Le graissage.

NOMBRE DE PHASES ET FRÉQUENCE. — Ce sont des données du réseau.

SYSTÈME. — Il existe de nombreux systèmes de moteurs à collecteur. Les plus connus par leurs applications pratiques déjà réalisées sont :

a) Le *moteur monophasé série*. L'induit est un induit à courant continu. L'inducteur est feuilleté comme un inducteur de moteur asynchrone. L'induit et l'inducteur sont en série (fig. 51).

Ce moteur a les propriétés du moteur continu série : couple de démarrage puissant, augmentation rapide du couple avec le courant; il s'emballe à vide. C'est le moteur type pour la traction (fig. 52). Il est employé aussi comme moteur universel, pouvant fonctionner aussi bien en alternatif qu'en continu.

La commutation est mauvaise, à cause de la forte valeur de la réaction d'induit; on y remédie en le munissant d'un enroulement de *compensation* créant un champ opposé à celui de l'induit. Cet enroulement est en série avec l'induit ou encore fermé en court-circuit sur lui-même.

Le facteur de puissance est faible.

b) Le *moteur monophasé à répulsion*. Ana-

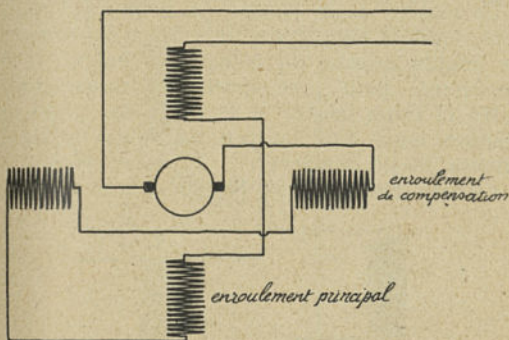


FIG. 51. — Moteur monophasé série compensé à collecteur.
Schéma.

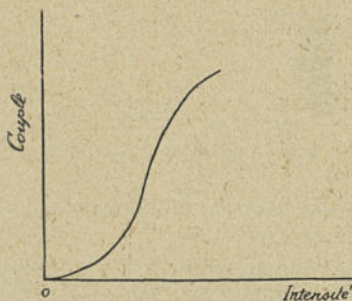


FIG. 52. — Moteur monophasé série compensé à collecteur.
Diagramme du couple en fonction de l'intensité.

logue comme construction au précédent, mais l'induit est fermé en court-circuit sur lui-

même et n'a pas de point commun avec l'inducteur (fig. 53).

Ce moteur a un couple de démarrage puissant, mais le couple s'annule au synchronisme. Le couple dépend du calage des balais, il est maximum pour une position intermédiaire entre la ligne neutre et la ligne des pôles; on dispose donc d'un moyen de faire varier la vitesse, et de démarrer.

La commutation est bonne sans compensa-

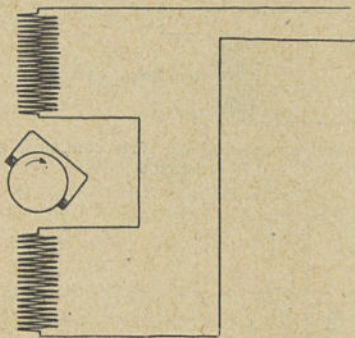


FIG. 53. — Moteur monophasé à répulsion. Schéma.

tion. Elle est d'autant meilleure qu'on se rapproche du synchronisme.

c) Le *moteur monophasé Déri*. Il ressemble à un moteur à répulsion, mais il y a 2 lignes de balais, l'une fixe, dans l'axe des pôles, l'autre mobile; ces balais sont reliés 2 à 2, un balai fixe à un balai mobile (fig. 54).

Le couple dépend du calage des balais mobiles : il croît rapidement avec l'intensité. Le

sens de rotation est inverse du sens du déplacement des balais par rapport à la position 0

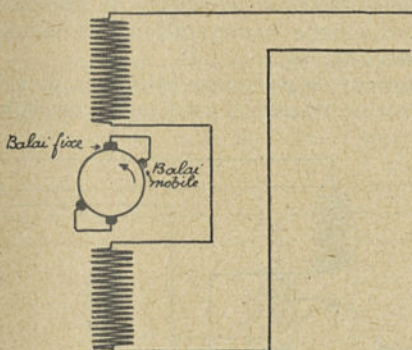


FIG. 54. — Moteur monophasé, système Déri.
Schéma.

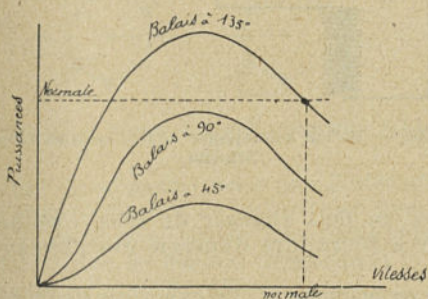


FIG. 55. — Moteur monophasé, système Déri.
Diagramme des puissances en fonction des vitesses
pour différents calages.

qui est la position des balais fixes (position pour laquelle le couple est nul) (fig. 55).

d) Le *moteur monophasé mixte Latour*. C'est à la fois un moteur série et un moteur à répulsion. On a ainsi les propriétés du moteur série avec l'excellente commutation des moteurs à répulsion (fig. 56).

Le facteur de puissance est voisin de 1. Pour une certaine vitesse, il peut même devenir égal

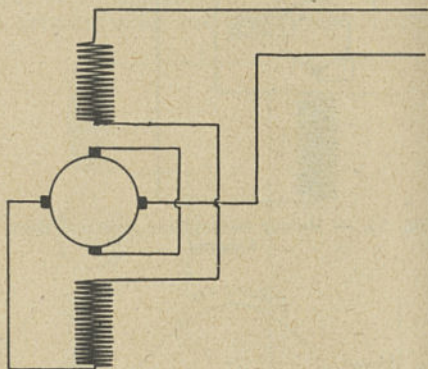


FIG. 56. — Moteur monophasé mixte, système Latour.
Schéma.

à 1, et au delà changer de sens, c'est-à-dire qu'il y a fourniture d'énergie déwattée au réseau.

Sur ce principe M. Latour a construit également un moteur *shunt*, qui a les propriétés du moteur continu shunt.

e) Les *moteurs à double collecteur*. Ils sont formés par l'assemblage de deux moteurs à collecteur monophasés, côte à côte, un couplage

particulier des enroulements des stators permettant de les alimenter en courant triphasé. Ce dispositif a été employé surtout pour les moteurs Déri (fig. 57).

f) Les *moteurs triphasés proprement dits*. Ce sont des moteurs série, mais l'enroulement est fait directement en triphasé.

Généralement le stator et le rotor sont reliés,

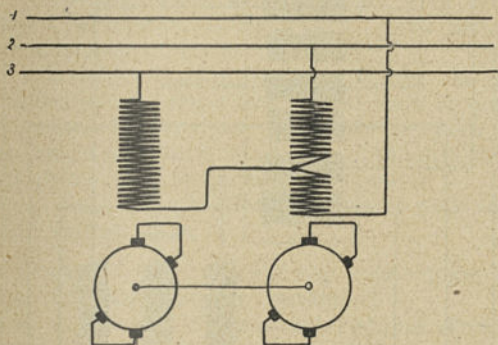


FIG. 57. — Moteur à double collecteur. Schéma.

non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un *transformateur*, ce qui permet d'employer pour le rotor une tension plus basse que pour le stator, donc de bobiner directement le stator en haute tension (fig. 58).

Ces moteurs ont un bon facteur de puissance. On est arrivé à leur donner une bonne commutation.

TENSION D'ALIMENTATION. — C'est la tension de distribution.

Pour les moteurs où le stator et le rotor ne sont pas reliés directement, on peut bobiner

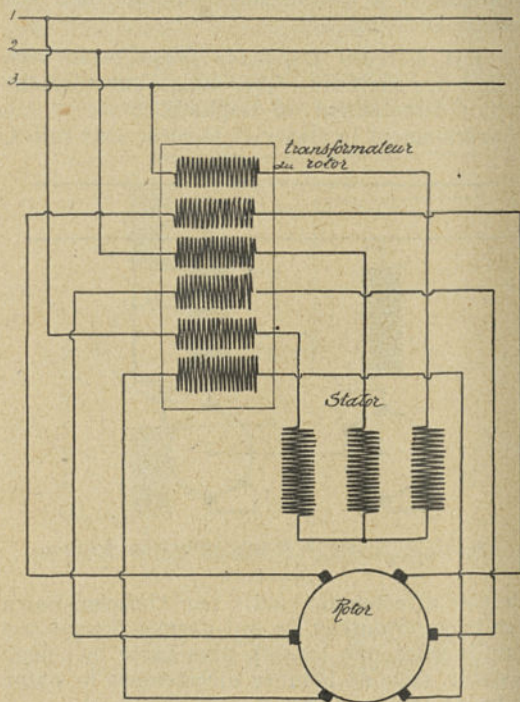


FIG. 58. — Moteur triphasé série à collecteur avec transformateur de rotor.

le stator en haute tension, comme avec les moteurs asynchrones. Avec les autres, on devra employer un transformateur.

PUISSANCE MÉCANIQUE, INTENSITÉ, GENRE DE SERVICE, MODE DE REFROIDISSEMENT. — On a été longtemps assez limité dans la *puissance* des moteurs à collecteur : on ne savait pas construire des moteurs à collecteur pour des puissances importantes. Actuellement, on a fait de grands progrès, et on construit des unités de plusieurs centaines de kw.

L'*intensité* est connue lorsqu'on a la puissance, la tension, le rendement et le facteur de puissance garantis.

A la détermination de la puissance est liée l'indication du *genre de service*. Mais la commutation doit toujours être prévue pour la puissance maximum, tandis que l'échauffement est prévu pour la puissance moyenne.

Le *mode de refroidissement* est le plus souvent naturel.

VITESSE. — La caractéristique de vitesse est très différente selon le système.

Si on a besoin d'une caractéristique série, il suffira de fixer la vitesse en charge normale.

Si on cherche surtout à réaliser une variation de vitesse réglable à volonté, il faut fixer les limites de la vitesse que l'on veut obtenir.

Ne pas oublier dans ce cas de spécifier les puissances correspondant aux vitesses extrêmes à obtenir.

MODE DE PROTECTION. — Les moteurs à collecteur étant le plus souvent des moteurs importants, placés dans des locaux spéciaux, seront généralement du type ouvert. En tous cas ne pas oublier que la partie délicate est le collecteur, et que si un mode de protection est nécessaire, c'est surtout pour cette partie.

MODE DE COMMANDE MÉCANIQUE. — Selon le cas, par courroie, accouplement direct, ou engrenages. Donner les dimensions de la poulie, du plateau d'accouplement, ou la démultiplication des engrenages.

PROCÉDÉ DE DÉMARRAGE. — Les procédés de démarrage usités pour les moteurs à collecteur sont très variés.

a) Par *rhéostat en série*. C'est le procédé type pour le moteur à collecteur. Il est absolument analogue au rhéostat du moteur continu.

b) Par *décalage des balais*. C'est le procédé des moteurs à balais décalables : moteurs à répulsion, moteurs Déri. Il a le gros avantage de ne nécessiter que des manœuvres mécaniques. Par contre la commutation est parfois assez délicate au démarrage.

c) Par *auto-transformateur*. On peut enfin mettre la tension du réseau progressivement sur le stator au moyen d'un auto-transformateur, muni d'un insérateur. Ce procédé est employé lorsqu'on ne désire pas employer le décalage des balais au delà de certaines limites.

ORGANES DE FIXATION. — Tendeurs, glissières et boulons ou simplement boulons de fondation.

GRAISSAGE. — Paliers à bagues ou à billes. 2 ou 3 paliers.

Garanties. — Les garanties à imposer au constructeur sont relatives :

Au rendement;

Au facteur de puissance;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

- A la commutation;
- A la rigidité diélectrique;
- A l'échauffement;
- A l'emballement;
- Au couple maximum.

RENDEMENT. — En principe le rendement d'un moteur à collecteur est généralement inférieur au rendement du moteur asynchrone de même puissance, marchant à pleine puissance et à sa vitesse de régime.

Cependant lorsqu'on a besoin d'une variation de vitesse, les procédés employés avec le moteur à collecteur ne donnent pas lieu à une dissipation d'énergie comparable à celle qui a lieu dans un rotor de moteur asynchrone dont on augmente le glissement par insertion de résistances. Le rendement pourra donc devenir plus avantageux.

Il est assez difficile de donner des valeurs courantes des rendements des moteurs à collecteur, ces moteurs étant rarement construits en séries. On demandera plutôt aux constructeurs, dans chaque cas particulier, quels sont les rendements garantis. Bien spécifier que le rendement s'entend à tension, fréquence, vitesse, puissances déterminées et égales aux valeurs normales. Dans les moteurs à variation de vitesse, le rendement doit être spécifié pour les valeurs limites de la vitesse, et autant que possible pour quelques valeurs intermédiaires.

FACTEUR DE PUISSANCE. — Le facteur de puissance varie dans de très larges limites selon la nature du moteur. Faible pour les moteurs série, il peut devenir égal à 1 pour les

moteurs Latour, dans certaines conditions du moins. Mêmes observations que pour le rendement.

COMMUTATION. — La commutation est le point délicat de tous ces moteurs; elle est plus ou moins bonne suivant les conditions de fonctionnement du moteur: puissance, vitesse, calage des balais. On spécifiera donc bien exactement ces conditions de fonctionnement et pour chacune d'elles la commutation devra se faire sans étincelles sensibles.

Sous une surcharge de 50 p. 100 il ne doit pas y avoir d'étincelles destructives.

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS (Voir chapitre premier).

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier). — On devra être particulièrement sévère pour l'échauffement du collecteur, qui est la partie essentielle.

EMBALLLEMENT. — Certains moteurs peuvent s'emballer à vide, du moins pour certaines positions des balais. Le moteur devra pouvoir supporter sans déformation permanente un excès de vitesse de 20 p. 100 pendant 15 minutes.

COUPLE MAXIMUM. — Très variable avec les applications. En général, lorsqu'on a besoin d'un couple maximum très grand, on prend un moteur à caractéristique série.

En tout cas, le minimum à imposer est 1.5 fois le couple normal, sans variation exagérée de vitesse.

Choix entre les différents systèmes de moteurs à courant alternatif. — Nous avons distingué dans les paragraphes précédents :

- Les moteurs synchrones ;
- Les moteurs asynchrones ;
- Les moteurs à collecteur.

MOTEURS SYNCHRONES. — L'avantage primordial est le facteur de puissance qui est égal à 1. Donc dans les cas où cette question présente une importance particulière, on devra toujours voir si on peut l'employer.

Par contre, la vitesse est rigoureusement constante ; il n'y a pas de réglage à espérer. La mise en marche nécessite un artifice. La puissance ne doit pas varier trop brusquement, et en tout cas ne pas dépasser la puissance nominale du moteur. L'ensemble est encombrant à cause de l'excitatrice.

Le moteur peut réagir sur le réseau en créant des oscillations. A employer pour actionner des machines à puissance très régulière, ne nécessitant pas de démarrages fréquents, s'accommodant d'une vitesse constante, pour des puissances notables et lorsque la question du facteur de puissance est importante.

MOTEURS ASYNCHRONES. — La vitesse est presque constante, et le moteur capable de surcharges importantes. Le démarrage est facile. On ne peut pas produire de variations importantes de vitesse d'une façon économique. Le facteur de puissance est mauvais surtout pour les petits moteurs et à charge réduite. Le moteur est peu encombrant et peut se construire pour toutes puissances ; il est simple et robuste.

Il pourra donc être employé dans tous les cas où la vitesse doit être presque constante, pour la commande de toutes sortes de machines et employé en tous lieux toutes les fois que le facteur de puissance pourra être bas sans gros inconvénient.

MOTEUR A COLLECTEUR. — Le moteur à collecteur n'est intéressant que par les variations de vitesse qu'il permet d'obtenir d'une façon simple et économique.

Il a l'inconvénient d'être lourd, encombrant et cher, de nécessiter un collecteur exigeant de l'entretien. Son facteur de puissance est plus ou moins voisin de 1 suivant les systèmes, son rendement est un peu plus faible que celui du moteur synchrone.

En somme, ce type de moteur n'est à utiliser que lorsqu'on veut obtenir des variations de vitesse. Encore, lorsque la variation de vitesse est de l'ordre de moins de 20 à 25 p. 100 ou exceptionnelle, devra-t-on examiner s'il n'y a pas intérêt à adopter plutôt un moteur asynchrone, quitte à dépenser un peu d'énergie dans les résistances de réglage, l'installation étant plus simple et plus robuste.

Il est cependant à adopter dans quelques cas particuliers où il est nécessaire d'avoir un moteur alternatif, ayant les propriétés d'un moteur continu série (traction monophasée).

7. Transformateur statique

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification complète d'un transformateur sont :

- La fréquence et le nombre de phases;
- Le mode de couplage des phases;
- Les tensions primaires et secondaires et le rapport de transformation;
- La puissance apparente, le facteur de puissance du réseau à alimenter, le genre de service;
- Le mode de refroidissement;
- Les accessoires.

FRÉQUENCE ET NOMBRE DE PHASES. — Ce sont des données du réseau. Pour les puissances et les tensions très élevées, à partir de 50.000 volts, on ne fait pas de transformateurs triphasés; il est plus avantageux de coupler 3 transformateurs monophasés.

MODE DE COUPLAGE DES PHASES. — Comme dans toutes les machines triphasées, on peut, dans les transformateurs triphasés, coupler les phases en *triangle* ou en *étoile*.

Le couplage en étoile a l'avantage, comme nous l'avons vu, de permettre l'utilisation de 3 tensions monophasées, prises entre le neutre et chacune des phases, tensions qui sont 1,73 fois plus petites que la tension triphasée entre phases.

En outre, l'équilibre, est meilleur, c'est-à-dire que les courants dans les 3 phases sont moins différents.

Le couplage normal d'un transformateur est étoile-étoile.

On utilise quelquefois le couplage triangle-étoile.

Quelquefois aussi on emploie un couplage spécial pour le primaire; c'est le couplage *zigzag* (fig. 59).

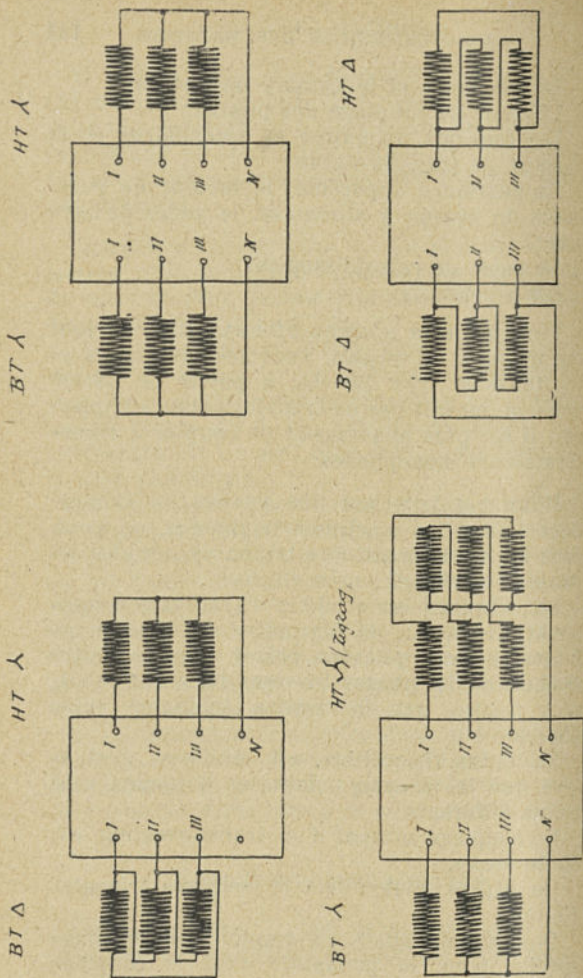


FIG. 59. — Diverses modes de couplage des phases d'un transformateur.

On spécifiera si, pour les couplages étoile, le neutre doit être sorti, c'est-à-dire aboutir à une borne. En général, dans les transformateurs abaisseurs, la basse tension au moins comporte le neutre sorti.

TENSIONS PRIMAIRES ET SECONDAIRES ET RAPPORT DE TRANSFORMATION. — On appelle *primaire* l'enroulement qui reçoit le courant de la génératrice, et *secondaire* celui qui fournit le courant transformé au réseau à alimenter.

Dans les transformateurs abaisseurs, qui nous intéressent plus spécialement (les transformateurs élévateurs étant plutôt réservés aux exploitants de centrales alimentant des lignes de transport à haute tension), le primaire est à haute tension, tandis que le secondaire est à basse tension.

On doit fixer d'abord la *tension primaire* : c'est la tension du réseau d'alimentation.

La *tension secondaire* est la tension qu'on veut obtenir sur le réseau à alimenter ; elle s'entend en charge normale, c'est-à-dire pour la puissance apparente et le facteur de puissance que nous allons définir au paragraphe suivant.

La ligne d'alimentation peut, surtout si elle est longue et très chargée, avoir une chute de tension importante. Pour ne pas que ces différences de tension se répercutent sur le réseau secondaire, il est souvent nécessaire de munir le primaire de *prises supplémentaires*, commutables à volonté, qui correspondent à un nombre de spires inférieur au nombre total. Il faut alors indiquer le nombre de prises à prévoir et la tension primaire correspondant à chacune de ces prises (fig. 60).

Soit par exemple un transformateur à mettre sur un réseau à 10.000 volts pour produire du 200 volts.

Supposons que par suite de la chute de tension en ligne et du réglage que l'on en fait à l'usine la tension puisse varier de 10 p. 100 en plus ou en moins, c'est-à-dire de 9.000 à 11.000 volts. Mettons 3 prises au primaire.

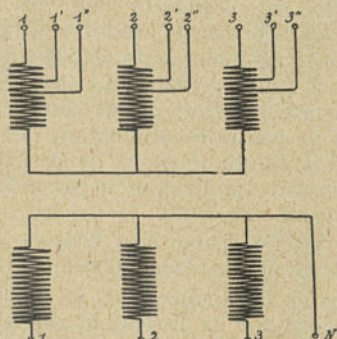


FIG. 60. — Transformateur à prises supplémentaires.

La prise correspondant à la totalité des spires donnera les tensions 9.350/200.

La prise suivante donnera 10.000/200. C'est la prise moyenne pour laquelle seront données généralement toutes les garanties du transformateur.

La dernière prise correspondra enfin à 10.650/200.

De la sorte, si la tension primaire est comprise entre 9.000 et 9.650, on se mettra sur la prise 9.350/200.

Si elle est comprise entre 9.650 et 10.350, on se mettra sur la prise 10.000/200.

Si elle est comprise entre 10.350 et 11.000, on se mettra sur la prise 10.650/200.

De la sorte, la variation de tension au secondaire provenant de la variation de tension primaire sera de l'ordre de 3,5 p. 100 en plus ou en moins.

On met plus rarement les prises sur la basse tension, car les intensités en jeu étant plus grandes, les contacts sont plus délicats. Il faudrait alors, pour un abaisseur, donner la tension primaire et les tensions secondaires correspondantes aux différentes prises.

Rapport de transformation. — On ne doit pas désigner sous ce nom, comme on le fait souvent, le rapport des tensions primaires et secondaires en charge, mais :

Ou bien le rapport des tensions primaires et secondaires à vide,

Ou bien le rapport des nombres de spires primaires et secondaires d'une même phase.

Mais il faut, d'une façon ou de l'autre, indiquer le couplage des phases primaire et secondaire.

Ce renseignement est surtout utile pour les transformateurs devant être couplés en parallèle. Pour les autres, on connaît la tension à vide avec suffisamment d'approximation, lorsqu'on connaît la garantie de chute de tension.

On construit actuellement des transformateurs pour toutes tensions jusqu'à 220.000 volts.

PUISSANCE APPARENTE, FACTEUR DE PUISSANCE DU RÉSEAU, GENRE DE SERVICE. — Comme pour

les alternateurs, c'est la *puissance apparente en kva.* qui sert à définir un transformateur : il s'agit, bien entendu, de la puissance secondaire.

Cette désignation doit être suivie de celle du *facteur de puissance* normal du réseau alimenté.

C'est pour cette puissance et ce facteur de puissance que les garanties doivent être données.

Les *intensités* primaires et secondaires en charge peuvent être déterminées lorsqu'on connaît tensions, puissance apparente, facteur de puissance et rendement.

$$\text{Intensité primaire} = \frac{\text{Puissance en kva.} \times 1.000}{\text{Rendement} \times \text{Tension} \times 1,73}$$

$$\text{Intensité second.} = \frac{\text{Puissance en kva.} \times 1.000}{\text{Tension} \times 1,73}$$

Comme toujours, l'indication de la puissance doit s'accompagner de la désignation du *genre de service.*

MODE DE REFROIDISSEMENT. — C'est un point extrêmement important dans les transformateurs, qui sont des appareils immobiles, tandis que dans les machines rotatives le mouvement de l'air crée toujours un certain refroidissement.

Il existe 4 modes de refroidissement.

a) *Transformateurs secs dans l'air.* Il n'y a aucun mode de refroidissement prévu que la convection de l'air environnant. Il faut donc prévoir largement le fer et le cuivre pour que la température ne s'élève pas d'une façon anor-

male. Par contre, comme la construction est très simple, ils sont, pour les petites puissances, un peu moins chers que les transformateurs dans l'huile.

Ils ne se construisent guère que jusqu'à 100 kva., service discontinu, et encore à partir de 50 kva., ils sont aussi chers que les transformateurs à huile de puissance continue correspondante.

En outre, l'isolement est beaucoup plus difficile à réaliser dans l'air que dans l'huile. Pour des tensions supérieures à 6.000 volts, on devra toujours préférer les transformateurs à huile.

b) *Transformateurs dans l'huile à cuve.* La masse de l'huile prend peu à peu la chaleur des enroulements, puis se refroidit par les parois. Il s'établit une lente circulation d'huile, l'huile chaude montant à la surface, puis redescendant lorsqu'elle s'est refroidie au contact des parois. Celles-ci sont souvent ondulées, pour augmenter la surface de refroidissement.

c) Pour les puissances importantes (500 kva. et plus), le refroidissement par les parois de la cuve à huile ne serait pas suffisant; on refroidit l'huile par une *circulation d'eau*; à cet effet un serpentín est placé dans la partie supérieure de la cuve.

d) Quelquefois on utilise un transformateur sec ou à cuve, autour duquel on crée une vive circulation d'air au moyen d'un *ventilateur*.

Ce moyen a un gros inconvénient : en cas de court-circuit la soufflerie transforme le premier coup de feu en un incendie très violent.

ACCESSOIRES. — Il est bon de munir les transformateurs d'un tube de niveau d'huile, permettant de contrôler la hauteur de l'huile.

Les transformateurs peuvent être munis de galets de roulement pour permettre de les rentrer et de les sortir de la cabine. Tous ces accessoires doivent être détaillés.

Garanties. — Les garanties à imposer aux fournisseurs sont relatives :

- A la régulation;
- Au rendement;
- Au courant à vide;
- Aux possibilités de couplage en parallèle;
- A la rigidité diélectrique des isolants;
- A l'échauffement.

RÉGULATION. — Définie par la chute relative de tension. On arrive à des chutes de tension remarquablement faibles dans les bons transformateurs modernes.

Voici par exemple les chutes de tension à pleine charge et $\cos \varphi = 1$ d'une série à 10.000 volts :

2 kva.	3,1	p. 100
5 —	2,2	—
10 —	2,1	—
20 —	1,9	—
50 —	1,8	—
100 —	1,7	—
150 —	1,5	—
200 —	1,7	—
300 —	1,4	—
400 —	1,25	—
500 —	1,1	—

En charge inductive, pour $\cos \varphi = 0,80$, les chutes de tension seraient de l'ordre de 5 p. 100.

RENDEMENT. — Le rendement des transformateurs statiques est très élevé, ce qui est naturel, puisqu'il n'y a pas de pertes mécaniques.

Le rendement s'entend naturellement, comme

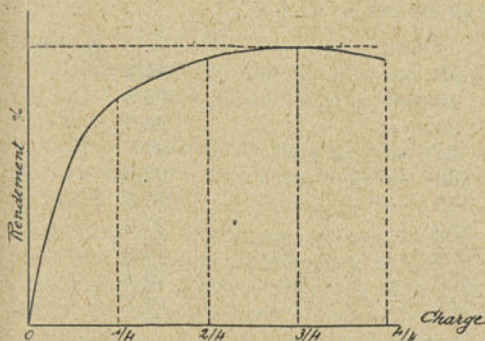


FIG. 61. — Diagramme de rendement d'un transformateur d'abonné. Maximum de rendement pour 3/4 de charge.

la chute de tension, pour le facteur de puissance, la tension et la fréquence normales.

Dans un bon transformateur, il varie peu avec la charge, tout au moins la 1/2 charge et la charge normale.

On construit souvent les transformateurs d'abonnés avec le maximum du rendement pour les 3/4 de charge : en effet le fonctionnement de ces transformateurs à pleine charge est

exceptionnel à cause du foisonnement des charges (fig. 61).

En tous cas, il sera bon de faire garantir le rendement pour $1/4$, $1/2$, $3/4$ de charge, la pleine charge et $5/4$ de charge, tout au moins pour les appareils d'importance notable.

Voici les rendements d'une série de transformateurs à huile 10.000 volts, pour la pleine charge et $\cos \phi = 1$:

2 kva.	94	p. 100
5 —	95,4	—
10 —	95,8	—
20 —	96,5	—
50 —	97	—
100 —	97,3	—
150 —	97,5	—
200 —	97,6	—
300 —	97,9	—
400 —	98,1	—
500 —	98,25	—

COURANT A VIDE. — Cette donnée a de l'importance, surtout pour les transformateurs d'abonnés, qui fonctionnent souvent à vide 16 heures sur 24. Le courant à vide est en effet presque entièrement déphasé, et il y a abaissement considérable du facteur de puissance en pure perte, puisqu'il n'y a pas d'énergie active consommée.

On fera donc bien de faire garantir la valeur maximum du courant à vide.

Voici d'après l'*Union des Syndicats de l'Electricité*, pour des transformateurs normaux à 10.000 volts, 50 périodes, le rapport du courant à vide au courant en charge :

		Courant à vide			
2 kva.	Courant en charge	= 30	p. 100	
5	—	—	= 24	—	
10	—	—	= 20	—	
20	—	—	= 16	—	
50	—	—	= 11,4	—	
100	—	—	= 9,5	—	
150	—	—	= 8,9	—	
200	—	—	= 8,3	—	
250	— et au-dessus	—	= 7,8	—	

Plus la tension est élevée, plus ce rapport s'élève. Aux basses fréquences le rapport est un peu plus élevé.

Pour les transformateurs dits à pertes réduites, ce rapport est sensiblement 1/2 des chiffres précédents.

POSSIBILITÉ DE COUPLAGE EN PARALLÈLE. — Lorsque des transformateurs doivent être couplés en parallèle au secondaire, il faut que la puissance se répartisse sur chacun d'eux proportionnellement à leur puissance respective. Pour cela, il faut:

a) Que les *rappports de transformation à vide* soient sensiblement les mêmes;

b) Que les *tensions de court-circuit* soient les mêmes (tension de court-circuit = tension à fournir en primaire pour que le secondaire court-circuité soit traversé par un courant égal au courant de charge normale).

A défaut de ce renseignement, on peut donner les chutes de tensions exactes pour $\cos \varphi = 1$ et pour $\cos \varphi = 0,80$.

c) Enfin le *couplage des enroulements* doit être le même.

Ces trois renseignements seront donc à fournir lorsqu'on voudra un transformateur capable de marcher en parallèle avec un transformateur existant: rapport de transformation à vide tension de court-circuit, couplage des phases.

Les constructeurs ne garantissent généralement le couplage que si le rapport des puissances des transformateurs n'est pas plus grand que 2.

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS (Voir chapitre premier).

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier).

8. Commutatrice

Nous ne nous occuperons que des commutatrices transformant du courant alternatif en continu; c'est le cas presque général.

Caractéristiques. — Les caractéristiques nécessaires à la spécification des commutatrices sont :

Nombre de phases et fréquence;

La tension;

La puissance en courant continu, le genre de service, le facteur de puissance, l'intensité;

Le mode de refroidissement;

La vitesse;

Le mode de démarrage;

Le mode de protection;

Les organes de fixation;

Le graissage.

NOMBRE DE PHASES ET FRÉQUENCE. — Le nombre de phases est en principe, le nombre de phases du courant d'alimentation. Cependant, on remplace souvent les commutatrices triphasées par des commutatrices hexaphasées, dans lesquelles l'utilisation de la matière est meilleure. On alimente facilement une commutatrice hexaphasée au moyen d'un couplage

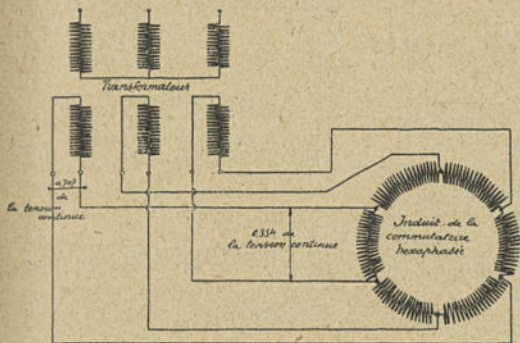


FIG. 62. — Couplage des phases d'un transformateur triphasé pour montage sur une commutatrice hexaphasée.

spécial d'un transformateur triphasé (Voir fig. 62).

Le fonctionnement des commutatrices est meilleur sous *basse fréquence* que sous les fréquences usuelles. Mais actuellement on construit très bien des commutatrices à 50 périodes dont le fonctionnement est irréprochable.

TENSION. — C'est la tension continue à fournir. Cette tension est avec la tension alter-

native d'alimentation en *rapport constant* à vide et presque constant en charge.

Ce rapport est :

En monophasé :

$$\frac{\text{tens. alternat.}}{\text{tens. continue}} = \text{théoriquement } 0,707$$

$$= \text{pratiquement } 0,707 \text{ à } 0,820.$$

En diphasé :

$$\frac{\text{tens. alternat.}}{\text{tens. continue}} = \text{théoriquement } 0,5$$

$$= \text{pratiquement } 0,5 \text{ à } 0,56.$$

En triphasé :

$$\frac{\text{tens. alternat.}}{\text{tens. continue}} = \text{théoriquement } 0,612$$

$$= \text{pratiquement } 0,612 \text{ à } 0,710.$$

En hexaphasé :

$$\frac{\text{tens. alternat.}}{\text{tens. continue}} = \text{théoriquement } 0,354$$

$$= \text{pratiquement } 0,354 \text{ à } 0,410.$$

La tension alternative étant prise entre 2 bagues consécutives.

La différence entre le chiffre théorique et le chiffre pratique provient de la forme plus ou moins sinusoïdale du champ inducteur.

En charge la tension varie peu, car la réaction d'induit est nulle et les pertes Joule très faibles.

En pratique, il sera bon de donner au constructeur la valeur de la tension continue que l'on veut obtenir et celle de la tension alternative dont on dispose.

PUISSANCE EN CONTINU, FACTEUR DE PUISSANCE, GENRE DE SERVICE, INTENSITÉ. — La *puissance* en kw. est celle dont on veut pouvoir disposer aux bornes côté continu. Comme pour la puissance mécanique des moteurs synchrones, on devra se tenir un peu large, pour éviter les risques de décrochage en cas de surcharge.

Le *facteur de puissance* d'une commutatrice peut varier selon la valeur de l'excitation, comme dans un moteur synchrone. Généralement, on prévoit que la machine devra pouvoir donner sa pleine puissance pour le facteur de puissance égal à 1, de façon à utiliser le courant alternatif dans les meilleures conditions, et à relever le $\cos \varphi$ du réseau.

Avec la puissance, spécifier le *genre de service*.

Le *mode de refroidissement* est le plus souvent naturel, les pertes par effet Joule dans l'induit étant relativement faibles.

VITESSE. — Toutes les vitesses synchrones peuvent être employées. On a intérêt pour réduire le prix et l'encombrement à prendre de préférence les grandes vitesses; en fait on n'est limité que par des questions de construction. On pourra s'en rapporter au constructeur pour déterminer la vitesse, d'après sa façon de construire.

MODE DE DÉMARRAGE. — Une commutatrice

doit être démarrée par les mêmes artifices qu'un moteur synchrone, et à vide comme lui. On peut donc employer :

a) Le démarrage par *moteur auxiliaire*;

b) Le démarrage par le *côté continu*, alimenté au moyen d'une batterie d'accumulateurs à travers une résistance variable;

c) Le démarrage en *asynchrone*. Ce dernier procédé tend à remplacer tous les autres, les commutatrices modernes étant toutes pourvues d'amortisseurs.

MODE DE PROTECTION. — Généralement les commutatrices étant placées dans des salles de machines sont des machines ouvertes.

ORGANES DE FIXATION. — Boulons de fondation.

GRAISSAGE. — Paliers à bagues ou à billes. 2 paliers puisqu'il n'y a pas de poulie.

Garanties. — Les garanties à demander au constructeur sont relatives :

A la régulation;

Au rendement;

Aux possibilités de couplage sur le réseau;

A la rigidité diélectrique des isolants;

A l'échauffement;

A la surcharge;

A la commutation;

RÉGULATION. — Nous avons vu que le rapport des tensions alternatives et continue, constant à vide, gardait une valeur presque égale en charge. En fait la chute de tension est toujours très faible.

RENDEMENT. — Le rendement s'entend à tension et fréquence constantes, pour la valeur normale du facteur de puissance.

Il est toujours élevé, à cause de la faiblesse des pertes Joule dans l'induit. Pour des machines de l'ordre de 200 kw., il atteint souvent 95 p. 100.

POSSIBILITÉS DE COUPLAGE SUR LE RÉSEAU. — Comme un moteur synchrone, une commutatrice couplée sur un réseau réagit sur lui, et peut causer des oscillations, allant dans certains cas jusqu'au décrochage.

Avec les commutatrices munies de circuits *amortisseurs*, ces effets sont bien réduits, et le couplage se fait généralement bien.

Ne jamais mettre plusieurs commutatrices sur le même transformateur : il se produirait des courants de circulation dangereux.

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES ISOLANTS (Voir chapitre premier). — Même remarque que pour les moteurs synchrones au sujet des inducteurs des moteurs synchrones démarrés en asynchrone.

ECHAUFFEMENT (Voir chapitre premier).

SURCHARGE. — En principe une machine synchrone ne devrait pas avoir à supporter de surcharge. On risque ainsi le décrochage; cependant les commutatrices ayant été souvent employées à l'alimentation des réseaux de traction, la question a été particulièrement étudiée, et les machines modernes sont capables de supporter une certaine surcharge, de 20 à 30 p. 100. surcharge possible, surtout à cause des *amortisseurs*.

COMMUTATION. — La commutation des commutatrices est généralement bonne pour un calage fixe à toutes charges, la réaction d'induit étant très faible. Ce n'est qu'en surcharge qu'il peut se produire des étincelles.

9. Groupes convertisseurs — Choix entre les différents systèmes de transformation d'alternatif en continu

Nous distinguerons :

Les groupes convertisseurs *asynchrones*, formés d'un moteur asynchrone et d'une génératrice continue, accouplée directement;

Les groupes convertisseurs *synchrones*, formés d'un moteur synchrone et d'une génératrice continue, accouplée directement.

Les caractéristiques des groupes sont celles des machines qui les composent et que nous avons déjà étudiées. Nous ferons seulement remarquer :

Que la *puissance mécanique* sur l'arbre du moteur est à chaque instant égale à la puissance mécanique fournie à l'arbre de la génératrice;

Que la *vitesse du moteur* est à chaque instant égale à la vitesse de la génératrice;

Que le *rendement du groupe* est à chaque instant égal au produit des rendements des machines qui le composent;

Que la *variation cinétique* de tension de la génératrice est commandée par la chute relative de vitesse du moteur.

Signalons enfin un nouveau système de groupe convertisseur qui tend de plus en plus

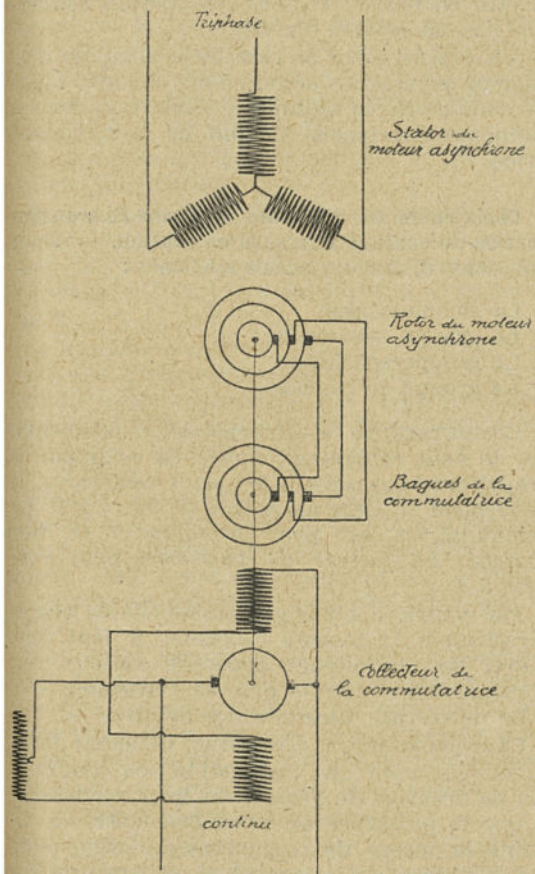


FIG. 63. — Schéma d'un convertisseur en cascade.

à être en usage : ce sont les groupes *convertisseurs en cascade* (fig. 63).

Un convertisseur en cascade se compose d'un moteur asynchrone accouplé directement à une commutatrice; le courant de l'induit du moteur alimente directement l'induit de la commutatrice.

Choix entre les différents systèmes de transformation du courant alternatif en continu. — Nous pouvons distinguer quatre systèmes :

- La commutatrice;
- Le groupe asynchrone;
- Le groupe synchrone;
- Le groupe en cascade.

COMMUTATRICE. — L'avantage fondamental est le *haut rendement*; même en comptant le transformateur presque toujours nécessaire, le rendement se tient au-dessus de 90 p. 100. La commutatrice est peu encombrante et bon marché. Le *facteur de puissance* peut être égal à 1.

Par contre, il n'y a pas possibilité de régler directement la tension continue; il faut employer des survolteurs, appareils coûteux, qui viennent augmenter le prix de l'ensemble.

Le démarrage nécessite des artifices.

La commutatrice sera donc indiquée lorsqu'on veut avoir une installation peu coûteuse, pas de décalage du réseau, un haut rendement et que la puissance est assez constante, ou du moins la marge de tension assez large, pour que le réglage de la tension ne soit pas nécessaire. C'est le cas de la traction.

GROUPE ASYNCHRONE. — L'avantage fondamental est la possibilité de *réglage de la tension* par la manœuvre du rhéostat de champ de la génératrice dans de très larges limites et la facilité du démarrage par simple manœuvre d'un rhéostat de glissement.

En outre le groupe peut supporter des surcharges importantes.

Par contre la machine est plus encombrante, et plus coûteuse, le rendement dépasse rarement 75 p. 100. Le facteur de puissance de l'ensemble est toujours notablement plus petit que 1.

Ce système s'applique dans la grande généralité des applications industrielles, où il faut pouvoir régler la tension, et supporter des surcharges importantes, et où la question économique est secondaire.

GROUPE SYNCHRONE. — Possibilité de *réglage de la tension* dans de très larges limites (même plus larges que dans le cas précédent, puisqu'il n'y a pas de glissement du moteur). Le *facteur de puissance* peut être réglé égal à l'unité.

Par contre l'ensemble est coûteux et encombrant, le démarrage nécessite les mêmes artifices que la commutatrice. Le rendement est faible (75 à 80 p. 100), les possibilités de surcharge limitées par les risques de décrochage.

Il peut en outre y avoir des réactions du groupe sur le réseau (oscillations).

Ce système s'emploiera pour les applications industrielles où il faut une tension réglable à volonté, où la puissance n'est pas susceptible

de variations importantes, et où la question du facteur de puissance est importante.

GROUPE EN CASCADE. — Ce système possède les avantages des différents groupes que nous venons d'étudier. La tension peut être réglée dans des limites assez larges, le démarrage est facile comme pour un moteur asynchrone ordinaire, la possibilité de surcharge est assez grande, le facteur de puissance est très voisin de 1. Enfin le rendement est un peu supérieur à celui d'un groupe moteur-générateur.

C'est sans doute le système de l'avenir.

CHAPITRE III

ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES UTILES POUR LE CHOIX DE L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

1. *Données générales sur l'appareillage.* —
2. *Appareils de connexion, de déconnexion et d'interruption.* —
3. *Appareils de réglage.* —
4. *Appareils de protection.* —
5. *Appareils de mesure.* —
6. *Accumulateurs.* —
7. *Appareillage d'éclairage.* —
8. *Matériel de lignes.*

1. Données générales sur l'appareillage

Classification de l'appareillage. — L'appareillage électrique proprement dit comporte :

Les appareils de connexion, de déconnexion, d'interruption;

Les appareils de réglage;

Les appareils de protection;

Les appareils de mesure.

Enfin nous rattacherons à l'appareillage :

Les accumulateurs;

Les appareils d'éclairage;

Le matériel de ligne.

Les facteurs généraux qui interviennent dans le choix des appareils sont :

- Les limites de l'échauffement;
- La résistance diélectrique des isolants;
- Le mode de protection;
- Les caractéristiques relatives à la rupture;
- Le régime normal.

Nous allons les étudier avant de passer à l'étude des appareils eux-mêmes.

Echauffement. — L'échauffement des appareils peut être produit par deux causes :

a) La *chaleur Joule* produite par le passage du courant dans les parties conductrices des appareils. Cette première partie est analogue à la chaleur produite par le passage du courant dans les enroulements des machines. Si on excepte les rhéostats et les fusibles, elle est très faible, les conditions de résistance mécanique des appareils conduisant à des sections beaucoup plus fortes que celles qui seraient déterminées par la condition de passage du courant.

b) La chaleur dégagée par la *résistance au contact* dans les organes en contact mobile et dans les assemblages permanents. Cette chaleur est beaucoup plus importante, surtout si les contacts ne sont pas ajustés d'une façon parfaite. Elle conduit à adopter de faibles *densités de courant au contact*, par conséquent de grandes surfaces de contact.

Les contacts des appareils se font :

a) Par *serrage*. C'est le cas d'une cosse serrée par les écrous d'une borne. Densité de courant admissible : 12 amp./cm² (fig. 64).

b) Par *lames rigides dressées*. La partie femelle est un bloc de laiton dans laquelle on a fraisé une rainure. Le contact n'est bon que

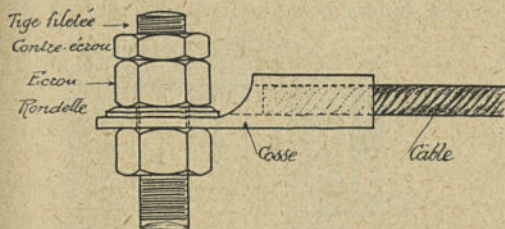


FIG. 64. — Contact par serrage d'une cosse sur une borne.

si l'ajustage est parfait. Densité de courant admissible : 5 amp./cm² (fig. 65).

c) Par *lames droites flexibles*. La partie



FIG. 65. — Contact par lame rigide dressée.

mâle vient entre 2 lames flexibles qui frottent sur elle. Chaque lame est divisée par des rainures en plusieurs parties pour assurer un meilleur contact. Densité de courant : 7 à 8 amp./cm² (fig. 66).

d) Par *lames flexibles courbées*. La forme courbée donne une plus grande élasticité à la lame. Densité de courant : 10 à 12 amp./cm² (fig. 67).

e) Par *balais à brosses, contact sur la tran-*

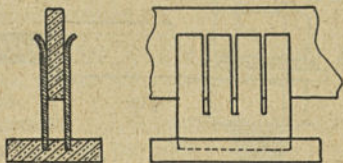


FIG. 66. — Contact par lames flexibles droites.

che. Des lames de 2 à 12/10 mm. sont réunies par la base et viennent frotter par la tranche indépendamment sur la partie mâle. Densité de



FIG. 67. — Contact par lames flexibles courbées.

courant : 25 à 50 amp./cm². Des lames d'écartement assurent la flexibilité de l'ensemble (fig. 68).

Le contact peut aussi se faire obliquement (fig. 69).

f) Par balais à brosses, contact par pression. Les lames viennent s'écraser sur un plot rigide. Il faut une pression de 250 gr. par cm^2 (fig. 70).

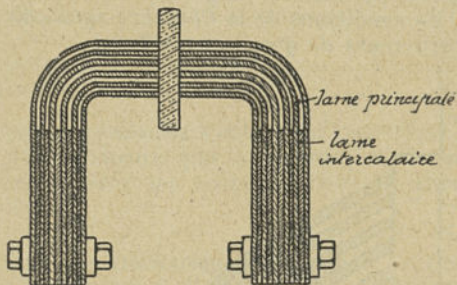


FIG. 68. — Contact par balais à brosses sur la tranche.

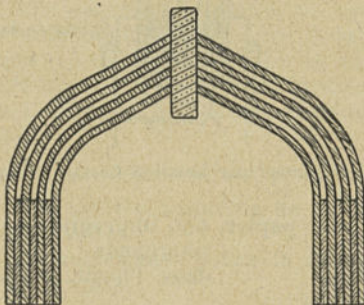


FIG. 69. — Contact par balais à brosses obliques.

Densité de courant : 15 à 20 amp./ cm^2 .

Les contacts doivent être indesserrables, surtout pour les grandes intensités. On dispose à cet effet de vis de blocage.

Les *échauffements* des différentes pièces de l'appareillage ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes (et la température ne doit pas dépasser ces limites augmentées de 40°). Ce sont les conditions de la *Chambre syndicale des Constructeurs de gros appareillage*.

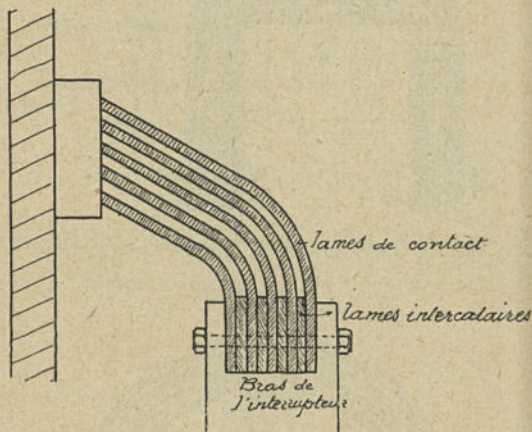


FIG. 70. — Contact par balais à brosses et pression.

Coton, soie, papier, non imprégnés..	55°
— imprégnés	65°
— dans l'huile.....	55°
Fil émaillé.....	85°
Marbre, ardoise.....	60°
Caoutchouc, ébonite, suivant la vulcanisation	20 à 60°
Isolants à la gomme laque, suivant nature	20 à 60°
Bakélite	160°

Huile minérale.....	50°
Ressorts	40°
Contacts métalliques, soudures.....	60°
Maillechort	210°
Fer	210°
Cuivre	260°
Fonte	260°
Aluminium	160°

Ces températures s'entendent mesurées, pour les enroulements, par augmentation de résistance, et pour les autres parties au thermomètre.

Résistance diélectrique des isolants. — Comme dans les machines, il faut que les enroulements ne soient pas percés par la tension normale ou par les surtensions accidentelles.

Pour s'en assurer on impose un essai à une tension notablement supérieure à la normale. Cette épreuve dure une minute. La tension est appliquée successivement entre chacun des circuits et l'ensemble des autres circuits reliés à la masse.

Les *tensions d'épreuve* ont pour valeur :

Pour une tension nominale de moins de 550 volts : 2.100 volts ;

Dans les autres cas : 2 fois la tension nominale + 1.000 volts.

Pour les appareils destinés à être livrés avec une machine, et devant être en contact électrique avec des enroulements, la tension d'épreuve des appareils sera la même que pour les enroulements de la machine. C'est ce qui a lieu pour les rhéostats de démarrage qui sont

généralement livrés avec les moteurs, pour les rhéostats d'excitation des dynamos et alternateurs, etc.

Mode de protection. — Les appareils peuvent être ou non mis à l'abri des intempéries, des poussières, des contacts accidentels. On distingue, selon le mode de protection employé :

- Les appareils non protégés;
- Les appareils protégés;
- Les appareils blindés;
- Les appareils blindés étanches;
- Les appareils submersibles, etc.

Les appareils *non protégés* sont indiqués pour les endroits où n'accèdent que des personnes au courant du fonctionnement des appareils, où il n'y a pas de chocs à craindre, et à l'abri des intempéries.

Les appareils *protégés* et les appareils *blindés*, lorsque les appareils sont exposés au public, ou dans des ateliers où il se fait des manutentions, et où il y a des poussières.

Les appareils *blindés étanches*, lorsque les appareils sont en plein air ou exposés à des poussières ou à des vapeurs inflammables.

Pour les *hautes tensions*, on construit actuellement des appareils blindés qui rendent de grands services dans les mines, mais, toutes les fois que ce sera possible, il vaudra mieux encore, pour la haute tension, employer des appareils non protégés enfermés dans des locaux spéciaux (cabines). Les appareils blindés conduisent trop à réduire les distances entre phases. Les réparations y sont toujours difficiles.

Caractéristiques relatives à la rupture. — Pour les appareils où se produisent des ruptures en charge.

La *capacité de rupture* est égale à la puissance apparente maxima que peut couper l'appareil. Elle est calculée en prenant pour tension la tension après rupture et pour intensité, l'intensité avant rupture.

La *durée de rupture* est le temps qui s'écoule entre le commencement de fonctionnement de l'appareil et la suppression effective du courant.

On devra indiquer sous quel *déphasage* la puissance de rupture est coupée.

On indiquera la *fréquence*.

On indiquera le *nombre de fois* que la rupture peut avoir lieu avant que l'appareil soit hors d'état.

On indiquera dans quel *état de détérioration* il se trouvera après rupture.

On indiquera enfin dans *quel milieu* se fait la rupture : air, huile, etc.

Régime normal. — Caractérisé par :

L'*intensité* qui passe dans chacun des circuits de l'appareil;

Le *service*, c'est-à-dire service continu si l'appareil peut supporter cette intensité indéfiniment, discontinu, s'il ne peut la supporter que pendant un nombre limité d'heures qu'on indiquera;

La *tension normale* entre phases ou pôles de l'appareil;

La *fréquence*;

La *nature du courant*;

Le nombre de *phases*.

2. Appareils de connexion, de déconnexion et d'interruption

Cosses. — Pièces conductrices destinées à être fixées par soudure ou serrage à vis à un câble et réunir ce câble à une borne d'un appareil.

Indications à donner : intensité, diamètre du câble.

La densité de courant au contact ne doit pas être supérieure à 12 ampères par centimètre carré.

Les surfaces en contact doivent être bien planes. Se font généralement en cuivre étamé (fig. 64).

Bornes. — Pièce fixée sur l'isolant d'un appareil, reliée d'une façon permanente à un des circuits de l'appareil, et d'une façon facultative, par serrage ou coincement à la cosse terminant un câble de connexion.

La borne la plus simple est une tige filetée, munie d'écrous (fig. 64).

Mêmes observations que pour les cosses.

Sectionneurs. — Appareils destinés à mettre en communication, à volonté, par une manœuvre simple, deux parties d'un circuit, et ne devant *pas couper en charge* (fig. 71 et 72)

S'emploient surtout pour la haute tension.

Peuvent être unipolaires ou multipolaires.

La manœuvre se fait généralement, pour les sectionneurs unipolaires par *perche de manœuvre* qu'on engage dans des ouvertures disposées à cet effet.

Pour les appareils multipolaires, elle se fait

souvent par *commande mécanique* à crémaillère ou à levier (fig. 74).

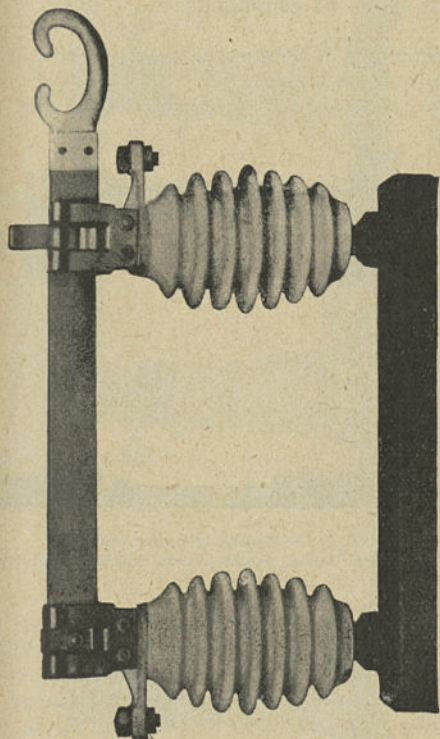


Fig. 71. -- Sectionneur haute tension sur isolateur accordéon.
Construction Merlin et Gérin.

On dispose quelquefois un plot de *repos* où vient se placer le couteau lorsque le circuit est coupé. Ce plot sert à mettre la ligne coupée à la

terre; c'est une bonne mesure de sécurité (fig. 73).

indiquer la tension, l'intensité, le nombre de pôles, le mode de commande.

Interrupteurs.— Ce sont des sectionneurs pouvant couper en charge.

Dans les appareils à *rupture brusque*, un

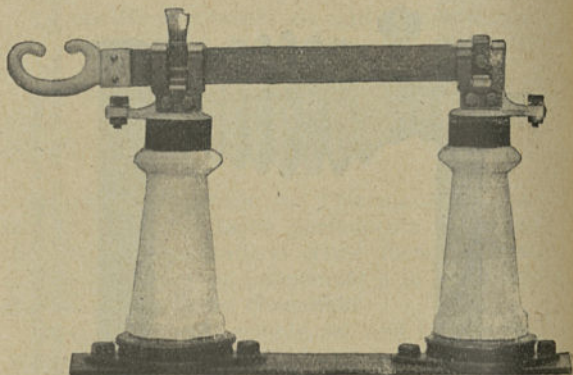


FIG. 72. — Sectionneur haute tension sur isolateurs lisses. Construction Merlin et Gérin.

couteau auxiliaire, rappelé vigoureusement par un ressort coupe le courant lorsque le couteau principal a déjà quitté les balais. Ils sont à employer lorsque la manœuvre en charge est fréquente, afin d'éviter les détériorations des contacts.

Dans les appareils à *rupture ordinaire*, la rapidité de rupture dépend de l'habileté de celui qui manœuvre l'appareil. Ils sont à em-

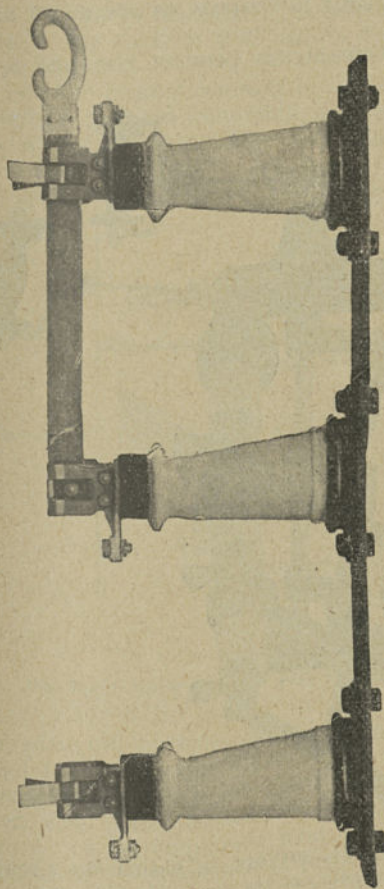


FIG. 73. — Sectionneur haute tension avec plot de repos (ou sectionneur inverseur).
Construction Merlin et Gérin.

ployer lorsque la coupure en charge est exceptionnelle.

Les interrupteurs peuvent être uni, bi, tri.

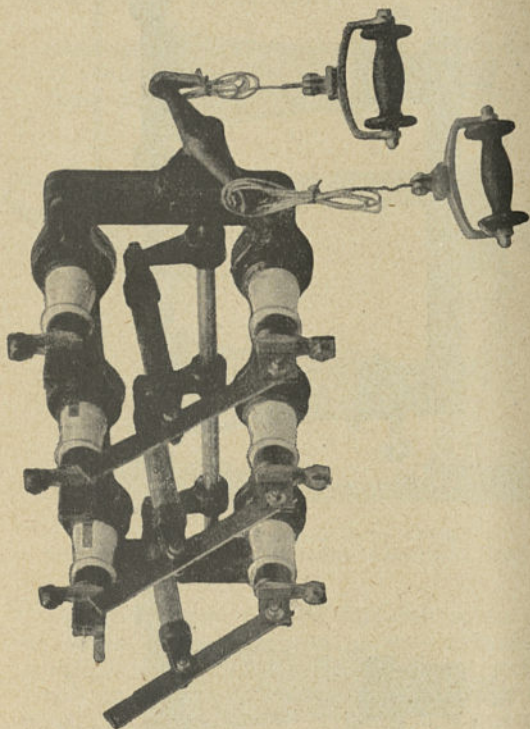


Fig. 74. — Sectionneur haute tension tripolaire à commande mécanique.
Construction Merlin et Gérin.

quadripolaires, suivant la nature du circuit à couper. En tous cas les couteaux sont réunis par traverse isolante qui porte la poignée.

Pour les fortes intensités, les couteaux sont multiples. Les contacts sont munis d'un dispositif de blocage.

On emploie comme *contacts* les lames droites ou courbées pour les intensités jusqu'à 500 ampères. Au delà, il vaut mieux prendre des contacts à balais multiples.

Quelquefois on les munit d'un *pare-étincelles*,

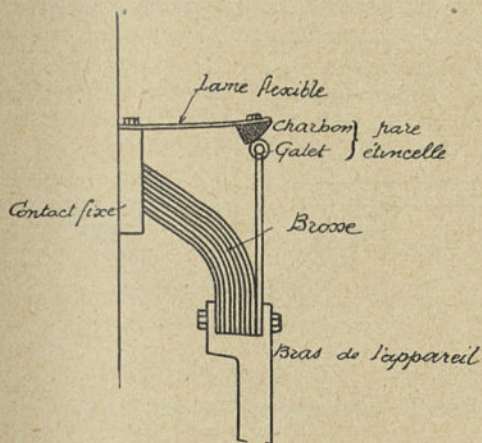


FIG. 75. — Interrupteur à pare-étincelles.

petite pièce qui ne rompt le contact que lorsque le couteau a déjà quitté le contact : l'étincelle est donc localisée sur une pièce facile à remplacer. Les pare-étincelles sont souvent en charbon : on les emploiera pour les appareils à manœuvre très fréquente, et pour les tensions un peu élevées (fig. 75).

On emploie quelquefois dans les réseaux des

interrupteurs d'extérieur à haute tension à rupture dans l'air : ce sont généralement des appareils placés sur poteaux et commandés du bas par une tringle à crémaillère. Pour permettre une rupture dans de bonnes conditions, les parties en contact sont munies de *cornes* : l'arc de rupture monte le long de ces cornes en s'allongeant et finit par se couper par suite du grand écartement du sommet des cornes.

Dans certains appareils à rupture dans l'air

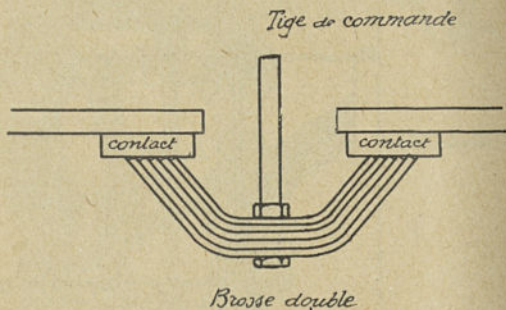


FIG. 76. — Contacts d'interrupteur à double rupture.

à forte intensité, on provoque la rupture brusque par *soufflage magnétique*. Un électro-aimant provoque dans l'espace de rupture un champ intense, qui a pour effet de dévier l'arc de rupture en l'allongeant : la rupture est ainsi rendue plus rapide et les pièces de contact sont moins rongées par la chaleur de l'arc.

Pour la rupture en charge des grosses intensités (à partir de 1.000 ampères) ou pour les voltages élevés (à partir de 1.000 volts), on tend

de plus en plus à employer exclusivement la *rupture dans l'huile*. Les distances de rupture peuvent alors être bien inférieures à celles qu'il faudrait dans l'air, et la masse absorbe et dissipe peu à peu la chaleur dégagée. La rupture est beaucoup plus brusque que dans l'air.

L'appareil est alors enfermé dans une cuve étanche. Les contacts sont de forme différente suivant les intensités en jeu.

Pour les tensions élevées, on emploie la *double rupture* : la rupture se produit en même temps sur deux points du même conducteur, ce qui double la distance de rupture (fig. 76).

On fait aussi des appareils à quadruple rupture.

La commande se fait :

A la main directement, comme dans les interrupteurs à levier;

Mécaniquement à distance au moyen d'un système de chaînes ou d'engrenages;

Electriquement à distance. En fermant un circuit de manœuvre on actionne un électro ou un petit moteur qui commande soit l'ouverture, soit la fermeture de l'appareil.

Les dispositifs de commande à distance ne sont guère employés que pour les interrupteurs dans l'huile.

Pour les tensions supérieures à 20 ou 30.000 volts, les interrupteurs dans l'huile se font *unipolaires* exclusivement : on doit alors employer, en triphasé, trois appareils unipolaires; on évite ainsi le jaillissement de l'arc entre pôles différents, et l'isolement est plus facile à réaliser.

CONDITIONS A REMPLIR PAR LES HUILES D'INTERRUPTEUR :

Haute *rigidité diélectrique* : à 10.000 volts entre 2 boules de 1 centimètre de diamètre, l'étincelle ne doit jaillir que pour une distance de 1 millimètre; de 2 millimètres pour 20.000 volts; de 3,75 millimètres pour 30.000 volts. Cette haute rigidité exclut la présence d'eau: du sulfate de cuivre anhydre placé dans l'huile ne doit pas bleuir;

Viscosité de 10;

Poids spécifique de 0,90;

Température d'*inflammation* de 200°;

Température de *solidification* de -15°;

Fluidité aussi grande que possible;

Pas d'*acide*, ni d'*alcalis* : essai au papier tournesol;

Pas de *résines*.

Une bonne huile ne laisse pas dans l'appareil de résidus *charbonneux*.

SPÉCIFICATION D'UN INTERRUPTEUR. — On devra indiquer :

Régime normal : volts, ampères, fréquence, nombre de phases ou de pôles, nature du courant, genre de service;

Caractéristiques de rupture : brusque ou non dans l'air, ou brusque dans l'huile. Capacité de rupture en kva. : facteur de puissance à la rupture. La capacité de rupture correspond généralement à l'intensité de court-circuit des machines protégées par l'interrupteur; „ „

Nombre de ruptures en charge avant détérioration; très variable selon le service. Pare-étincelles;

Mode de protection;

Echauffement et rigidité diélectrique : généralement conditions de la *Chambre syndicale des Constructeurs de gros matériel électrique*, que nous avons données plus haut;

Mode de commande.

Disjoncteurs automatiques ou interrupteurs automatiques ou simplement automatiques. Ce sont des interrupteurs à rupture dans l'air ou dans l'huile, pouvant être manœuvrés à la volonté de l'opérateur, par un mode de commande quelconque, mais pouvant aussi s'ouvrir au moyen d'une commande électrique agissant automatiquement lorsque certaines conditions de courant, de tension, de puissance sont remplies (fig. 77).

On distingue :

a) Les automatiques à *maxima*, déclanchant lorsque l'intensité du courant dépasse une certaine valeur; ces appareils sont utiles pour parer aux effets des court-circuits dans les lignes ou des surcharges exagérées dans les machines. L'organe de commande est généralement un électro parcouru par le courant total (ou une fraction qui lui soit proportionnelle) et dont l'armature est attirée à partir d'une certaine intensité. C'est cette armature qui agit sur le mécanisme de déclanchement (fig. 78).

b) Les automatiques à *minima*, déclanchant lorsque l'intensité baisse au-dessous d'une certaine valeur; ces appareils permettent d'être sûr qu'une machine au repos n'a pas son interrupteur fermé. Le dispositif est le même que précédemment, mais c'est l'armature qui maintient l'appareil enclenché, lorsqu'elle est atti-

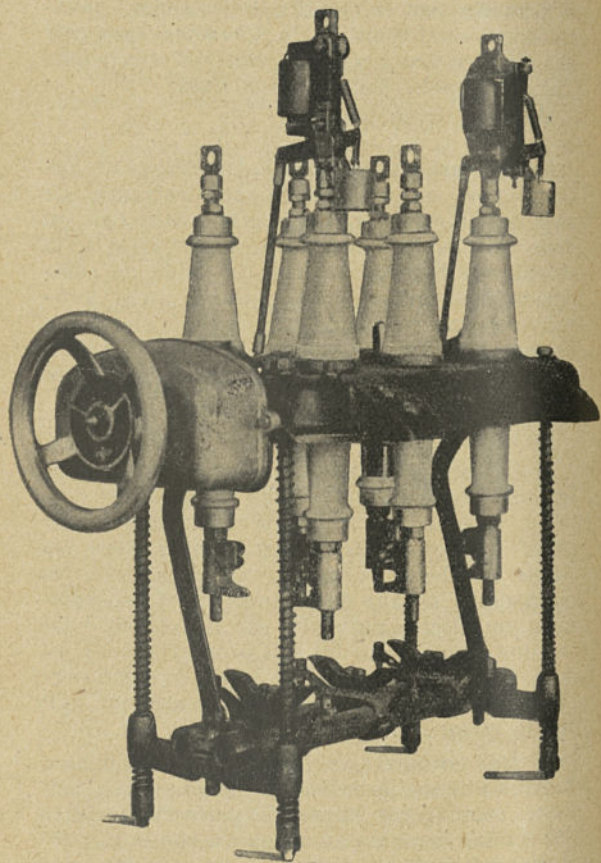


FIG. 77. — Interrupteur automatique dans l'huile, cuve enlevée. Construction Merlin et Gérin.

rée; dès qu'elle revient à sa position de repos, par suite de la diminution de l'attraction, l'appareil déclanche.

c) Les automatiques à *manque de tension*, dé-

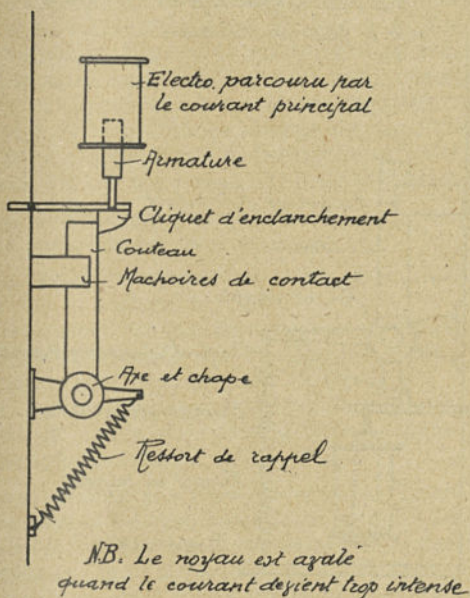


FIG. 78. — Schéma d'un automatique à maxima.

clanchant lors que la tension baisse au-dessous d'une certaine valeur; ces appareils permettent, lorsque la tension est coupée sur une ligne, d'être sûr que tous les moteurs sont coupés; on pourra donc remettre le courant sans

craindre qu'ils démarrent avant la manœuvre de leurs appareils de démarrage. C'est ici un électro à fil fin branché en dérivation sur la ligne, dont l'armature maintient l'appareil en-

N.B. Le noyau tombe lorsqu'il n'y a plus de tension

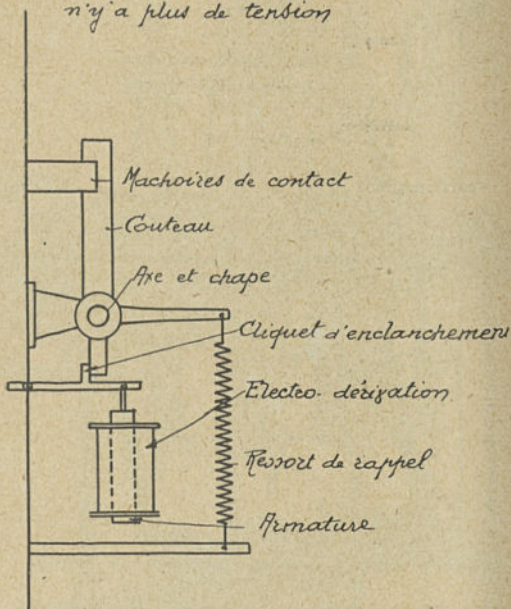


FIG. 79. — Schéma d'un automatique à manque de tension.

clanché, tant que la tension est normale; lorsque la tension baisse au-dessous d'une certaine limite, l'armature revient au repos et l'appareil s'ouvre (fig. 79).

d) Les automatiques à *retour d'énergie* ou retour de courant, déclanchant lorsque la puissance change de sens; ces appareils permettent d'éviter qu'un moteur devienne génératrice dans certaines conditions, ou inversement qu'une génératrice se mette à être entraînée en moteur. L'électro est ici bobiné à la fois à fil fin en dérivation et à gros fil en série. Les actions de ces deux enroulements s'ajoutent normalement, et concourent à maintenir l'appareil enclanché. Si la puissance change de sens, l'effet des deux enroulements se retranche et, l'attraction de l'armature cessant, l'appareil déclanche.

Les *bobines de déclanchement* de ces différents appareils peuvent être :

Ou prises directement en série ou en dérivation sur la ligne;

Ou connectées aux secondaires de transformateurs d'intensité ou de tension, dont les primaires sont branchés sur la ligne;

Ou encore reliées à ces transformateurs au moyen de relais que nous définirons dans un paragraphe prochain.

La commande par *transformateurs* d'intensité ou de tension est recommandable pour les fortes intensités ou les hauts voltages : elle permet d'employer des appareils de déclanchement construits en série tous pour les mêmes valeurs de la tension ou de l'intensité, et de n'avoir que des appareils de déclanchement peu encombrants et non soumis à la haute tension. Par contre les transformateurs augmentent le prix de l'appareil. Aussi pour les appareils courants, qui doivent être bon marché, tout au moins pour des tensions relativement peu

élevées, préfère-t-on souvent les appareils directs.

Les automatiques peuvent être :

a) A *action instantanée*. Dès que la variation contre laquelle on cherche à se protéger se produit, et dans la limite de temps exigée par l'inertie des pièces (quelques fractions de seconde), l'appareil agit. Ce sera le cas de la plupart des appareils à manque de tension ou à retour d'énergie.

b) A *retard fixe*. L'appareil n'agit qu'au bout d'un temps déterminé, qui est fixe et indépendant de la grandeur de la variation qui produit le déclenchement.

c) A *retard relatif*. L'appareil n'agit qu'au bout d'un temps déterminé, mais d'autant plus rapidement que la variation est plus grande.

Ces deux derniers systèmes sont surtout employés pour les automatiques à maxima; c'est le dernier système qui est le seul logique; on peut faire le réglage de façon qu'un court-circuit franc produise un déclenchement presque instantané, tandis qu'une surcharge relativement faible ne produira le déclenchement qu'au bout d'un certain nombre de secondes. On peut ainsi munir d'un automatique une ligne soumise à des à-coups de faible durée, qui ne sont nullement dangereux, à cause de leur rapidité, sans voir l'appareil déclencher intempestivement à tout moment cependant qu'une surcharge de faible amplitude, mais se prolongeant, qui pourrait devenir dangereuse pour les machines, produira le déclenchement.

Le *retard* est généralement produit dans les

disjoncteurs par l'action de pistons reliés à la partie mobile et glissant dans des cylindres fixes ou dash-pot; ces cylindres sont remplis d'un liquide visqueux, tel que de la glycérine, et la compression du piston a pour effet de faire passer de force ce liquide dans un trou de faible section; ce passage dure un certain temps, ce qui produit le retard cherché. En pratique, il est assez difficile de produire un retard réglable avec précision dans un appareil où le dash-pot est monté directement sur

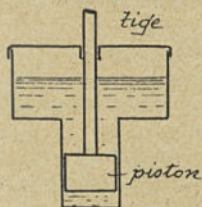


FIG. 80. — Dash-pot retardataire pour automatique.

le disjoncteur. On préfère le plus souvent disposer l'appareil retardateur sur un relais: le réglage est alors bien plus précis (fig. 80).

Les dash-pot à mercure sont beaucoup plus précis que ceux à glycérine.

Dans le choix de la valeur de la surcharge qui doit faire déclancher et du retard, il faut tenir compte de la nécessité de *faire l'échelle* entre les disjoncteurs successifs: l'appareil placé le plus près de la source de courant doit comporter le maximum de retard, mais la surcharge la plus faible, puisque la charge se

répartit entre différentes lignes, qui ne sont pas toutes en surcharge en même temps. Au contraire les appareils qui protègent les moteurs devront être à action presque instantanée, et à surcharge un peu plus forte. De cette façon une surcharge ne fera déclancher que la partie du réseau en surcharge, ce n'est qu'en cas de court-circuit franc que tous les appareils déclancheront à la fois, s'ils sont à retard inversement proportionnel à la surcharge (Voir vol. II, chap. II, § 6).

SPÉCIFICATION D'UN DISJONCTEUR. — On devra indiquer :

Les caractéristiques de l'interrupteur proprement dit, comme nous avons vu plus haut;

La nature du déclanchement : maxima ou retour de courant;

Le mode de commande du déclanchement : sur le courant ou la tension principale, ou sur transformateurs d'intensité, ou de tension, ou sur relais, les caractéristiques de la tension ou de l'intensité de commande, en service normal;

Si l'appareil est à action instantanée, temporisée ou retardée;

Enfin la valeur de la surcharge pour laquelle le déclanchement doit se produire, et la valeur du retard;

Si l'appareil est à action retardée, il faut donner plusieurs valeurs de la surcharge et du retard, puisque ces deux données sont fonction l'une de l'autre, par exemple :

Déclanchement en 10 secondes pour 25 p. 100 de surcharge;

Déclanchement en 5 secondes pour 40 p. 100 de surcharge;

Déclanchement en 1 seconde pour 75 p. 100 de surcharge.

D'ailleurs les appareils construits actuellement sont en général réglables dans des limites assez larges.

Relais.— Les relais sont des appareils utilisés pour produire, sous l'effet de certaines variations d'un courant, dit courant de contrôle, une variation déterminée d'un autre courant, dit courant de manœuvre, qui peut être capable de produire des actions plus puissantes que le premier.

Par exemple, les relais de disjoncteurs sont des appareils où les variations du courant ou de la tension provenant des transformateurs d'intensité ou de tension produisent l'ouverture ou la fermeture d'un circuit de manœuvre actionnant par électros ou par petit moteur, le déclanchement du disjoncteur.

Le courant de manœuvre peut être pris sur une *source distincte* ou réseau auxiliaire de manœuvre, ou bien pris sur le courant lui-même des *transformateurs* d'intensité ou de tension. Un tel relais peut être à maxima, à minima, à manque de tension, ou à retour de courant, à action instantanée, temporisée ou retardée.

Les relais sont indispensables pour les automatiques où le déclanchement exige une *puissance considérable*, par exemple pour les grosses intensités ou les hautes tensions, et aussi pour ceux où le retard et la surcharge doivent être réglés avec *précision*. Par contre, on n'en mettra pas sans nécessité, car ce sont toujours des appareils délicats, qui exigent une

surveillance assez minutieuse si on veut pouvoir compter dessus.

Ils peuvent être :

A *attraction*, lorsque l'action du courant de contrôle s'exerce sur un électro dont l'armature ouvre ou ferme le circuit de manœuvre;

A *induction*, lorsque c'est un disque en métal, dont la rotation est commandée par les courants de Foucault qui s'y produisent sous l'action d'électros parcourus par le courant de contrôle, qui entraîne l'ouverture ou la fermeture du circuit de manœuvre.

Les appareils à induction sont généralement plus précis que ceux à attraction.

Les *contacts* d'ouverture ou de fermeture du circuit de manœuvre se font par tiges plongeant dans des godets de mercure ou par contacts secs. Les contacts à mercure exigent une puissance moins considérable que les contacts secs, où il faut une certaine pression pour assurer un bon contact; par contre il faut craindre les projections de mercure au moment des ouvertures de circuits, projections qui risquent de détériorer les circuits voisins.

SPÉCIFICATION D'UN RELAIS. — Il faut indiquer :

La nature du déclenchement : maxima, minima, manque de tension, retour du courant.

Les caractéristiques du circuit de contrôle : intensité, tension, puissance en voltampères disponibles aux bornes des transformateurs, en service normal.

Les caractéristiques du circuit de manœuvre :

intensité, tension, puissance nécessaire à la manœuvre du dispositif de déclanchement;

Le mode de protection;

Les conditions de résistance diélectrique et d'échauffement, qui sont celles de la *Chambre syndicale*;

Si le relais est à action instantanée, temporisée ou retardée;

Enfin la valeur de la surcharge (ou de la sous-charge, ou du manque de tension, ou de la puissance) qui doit provoquer le déclanchement, et la valeur du retard.

Mêmes observations que pour les disjoncteurs au sujet des appareils retardés.

Commutateurs. — On désigne sous ce nom des interrupteurs d'un genre particulier, qui ont pour rôle de mettre un circuit en communication à volonté, soit avec différentes parties d'un autre circuit, soit encore avec différents autres circuits. On distingue :

a) Les COMMUTATEURS A 2 DIRECTIONS, uni, ou multipolaires, qui sont constitués comme des interrupteurs, mais les couteaux peuvent venir en contact soit avec une série de mâchoires, soit avec une autre; c'est le cas des appareils servant à alimenter un circuit d'utilisation, avec l'une au choix de deux sources de courant. C'est le cas aussi des appareils permettant d'inverser le sens du courant dans un circuit d'une machine pour la faire tourner en sens inverse : on les appelle dans ce cas *inverseurs* (fig. 81 et 82). Les commutateurs de court-circuit permettent d'intercaler un appareil dans l'un à volonté de deux circuits sans couper le courant. (Vérification de l'égalité des courants

dans deux phases d'une ligne triphasée, mesure de puissance par la méthode des deux wattmètres.)

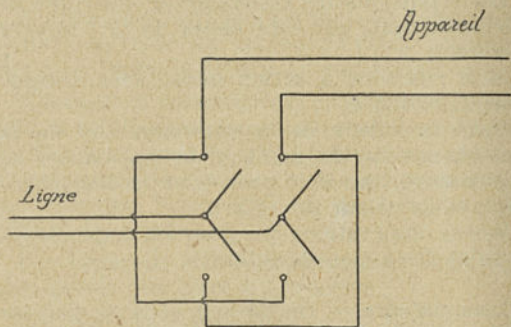


FIG. 81. — Inverseur bipolaire.

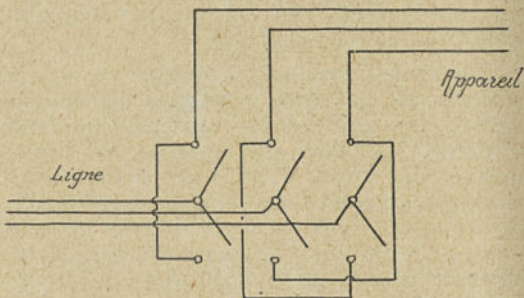


FIG. 82. — Inverseur tripolaire.

b) Les COMMULATEURS DE RHÉOSTATS ou de réactances, uni ou multipolaires, destinés à intercaler dans un circuit une résistance ou une

réactance plus ou moins grande, pour le réglage d'un courant. Ils sont constitués généralement par un balai mobile porté par un levier pouvant pivoter autour d'un axe, levier qui porte l'appareil de manœuvre. Ce balai vient successivement en contact avec différentes touches qui sont reliées aux différents points de la résistance. Le balai peut être, suivant le cas, isolé du levier ou non. Il y a autant de balais, et par conséquent de séries de plots que l'appareil comporte de pôles.

Le commutateur coupe ou non, suivant qu'il y a ou non un plot isolé ou *plot mort*.

Le commutateur peut être dans l'air ou dans l'huile.

c) LES INSÉRATEURS. — Ces appareils sont semblables, en principe, aux commutateurs de rhéostats, mais ils sont destinés à intercaler sur un circuit des portions de circuits comportant des forces électromotrices: bobines de transformateurs, éléments d'accumulateurs, etc.; il faut alors, pour ne pas mettre ces forces électromotrices en court-circuit, que le balai ne vienne jamais en contact en même temps avec 2 plots successifs; comme il faut pourtant qu'il n'y ait pas d'interruption dans le circuit, on constitue le balai en deux parties, dont l'ensemble est plus large que l'intervalle entre deux plots, mais chaque partie est plus petite: ces deux parties sont réunies par une résistance: il y a donc toujours au moins cette résistance entre 2 touches successives.

Les insérateurs se font de deux façons: les balais peuvent être, comme dans les commutateurs de rhéostats, portés par un levier mo-

bile autour d'un axe; ou encore être portés par une pièce qui se déplace longitudinalement en faisant écrou sur une vis, qui porte l'organe de manœuvre.

SPÉCIFICATION D'UN COMMUTATEUR. — Cette spécification comporte les conditions de spécification d'un interrupteur: l'intensité doit être donnée pour chacune des positions des balais.

En plus, il faudra indiquer le nombre de positions, et s'il y a ou non un plot de coupure.

Pour les insérateurs, on devra indiquer la valeur de la résistance intercalée (qui est connue lorsqu'on a la valeur de la force électromotrice des éléments à intercaler, et de l'intensité maximum qui doit y passer).

Combinateurs. — On désigne sous ce nom une forme particulière de commutateurs, employés pour le démarrage et le réglage de vitesse des moteurs de traction ou d'appareils de levage, où la fréquence des manœuvres, et la nécessité de confier ces appareils à un personnel quelconque, exige une grande robustesse.

La partie fixe comporte une série de contacts flexibles, très robustes, ou *doigts*, munis de pare-étincelles et montés les uns au-dessus des autres. Ces contacts sont reliés aux divers points des circuits ou des résistances qu'il s'agit de coupler suivant le schéma à obtenir. En face de ces contacts, se déplacent, par rotation autour d'un axe, des *secteurs*, conducteurs, embrassant des angles plus ou moins grands, et calés de façons différentes sur l'axe; ces secteurs sont, ou isolés, ou reliés les uns aux autres, suivant le cas: ils viennent frotter sur les

doigts, et suivant la position de l'axe, établissent des connexions différentes.

L'ensemble est entouré d'un carter de protection; le soufflage de l'arc est généralement magnétique (fig. 83).

SPÉCIFICATION D'UN COMBINA TEUR. — Comme pour un commutateur, mais indiquer le schéma des connexions à réaliser sous la forme d'un développement analogue à celui de la figure 83.

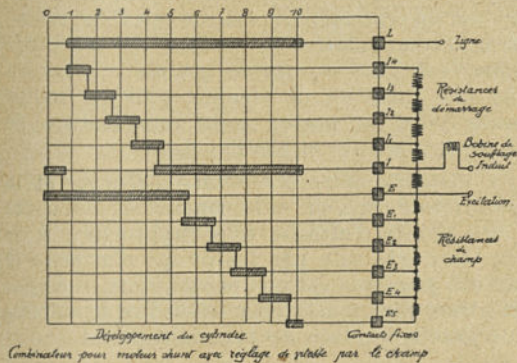


FIG. 83. — Exemple de schéma de combinateur.

Le point important est la capacité de rupture sans détérioration et le nombre de fois que ces coupures peuvent être réalisées sans nécessiter d'entretien.

Coupe-circuit fusibles. — Ce sont des appareils contenant un conducteur métallique parcouru par le courant, la densité de courant

étant telle que ce conducteur, sous l'effet d'une augmentation anormale d'intensité, fond et coupe le circuit. Un tel appareil remplace donc un disjoncteur à maxima.

Les facteurs qui influent sur la fusion d'un fil métallique sont :

La *densité de courant* : plus celle-ci est grande, plus la quantité de chaleur développée est grande.

La *forme de la section du conducteur*, suivant qu'un conducteur est de section ronde, carrée, rectangulaire, sa surface de refroidissement est plus ou moins grande : il faudra donc une quantité de chaleur plus ou moins grande pour le porter à la température de fusion, à intensité et section égales.

La *distance entre les points d'attache* et la massivité de ceux-ci : si le conducteur est court et ses points d'attache très rapprochés, il se refroidira très vite par les points d'attache et d'autant plus que ceux-ci seront constitués par des pièces plus massives, c'est-à-dire ayant une plus grande surface de refroidissement.

Le *refroidissement extérieur* : si la température de la salle est élevée et sans ventilation, il fondra plus vite que si la température ambiante est basse et l'air en mouvement.

La *nature du métal* : suivant la résistance du métal, la quantité de chaleur dégagée sera plus ou moins grande ; suivant sa température de fusion, il faudra plus ou moins de chaleur pour l'y porter. Enfin, on considère aussi la façon dont se fait la fusion, qui peut être tranquille ou s'accompagner de projections de

métal incandescent dangereuses, avec production de vapeurs conductrices ou non.

Les principaux *types de fusibles* employés sont :

Alliage spécial pour fusibles: 60 p. 100 de plomb, 40 p. 100 d'étain. Fusion à 180°. S'emploie sous forme de fils de 3/10 à 3^m/_m ou de lames de 1 à 3^m/_m d'épaisseur. Projections de métal, et vapeurs conductrices, qui empêchent l'arc de s'éteindre.

Plomb en fils ou en lames. Fusion à 325°. Mêmes inconvénients que l'alliage.

Etain en lames. Fusion à 230°. Pas de projections de métal.

Aluminium en lames. Fond à 650°. Projections de métal, mais la masse est beaucoup plus faible qu'avec le plomb et l'alliage, de sorte que ces projections sont moins dangereuses. Les vapeurs ne sont pas conductrices et étouffent l'arc.

Cuivre en fils pour hautes tensions. Fusion à 1.100°. Projections de métal rouge mais peu abondantes. Les vapeurs sont conductrices.

Argent en fils pour hautes tensions. Fond à 950°. Mêmes avantages que le cuivre, mais les vapeurs sont moins conductrices, l'arc s'éteint donc plus facilement.

Les *coupe-circuit* ou supports de fusibles employés seront :

Le coupe-circuit à *tabatières* avec fusible en fils d'alliage: très commode pour les petites intensités et basses tensions (installations d'éclairage), à cause de la facilité de remplacement du fil fusible, et de la protection contre les pro-

jections de métal en fusion, réalisée par la boîte et son couvercle.

Les coupe-circuit constitués par des *lames* (aluminium de préférence) serrées dans des bornes à écrous. C'est le type le plus employé pour les moteurs, surtout lorsqu'il est placé sur le même support que l'interrupteur du moteur.

Les *cartouches* constituées par des cylindres en carton terminées par des cosses en métal, entre lesquelles est fixé un fil (cuivre, argent), qui passe à l'intérieur du tube. L'intérieur du tube est garni d'une matière inerte telle que du talc.

Cet appareil est facile à remplacer: il évite les projections de métal, puisque la rupture se fait dans le talc. Il est par contre plus cher que les systèmes précédents.

Coupe-circuit à barrettes ou à *poignées*. Ces appareils consistent en une barrette ou un tube en matière isolante, généralement en porcelaine, terminé aux deux extrémités par des couteaux, qui peuvent venir s'engager dans des mâchoires fixes. Un fil de métal (cuivre, argent, etc.) est tendu à l'intérieur de la poignée ou le long de la barrette.

Ces appareils sont très faciles à remplacer; s'ils coûtent assez cher, leur entretien ne coûte que le prix du fil fusible puisque le support sert à nouveau après fusion, tandis que les cartons de cartouches n'ont plus beaucoup de valeur.

Pour les *hautes tensions* on choisira de préférence les fusibles à poignée ou à cartouches, qui sont faciles à remplacer (fig. 84).

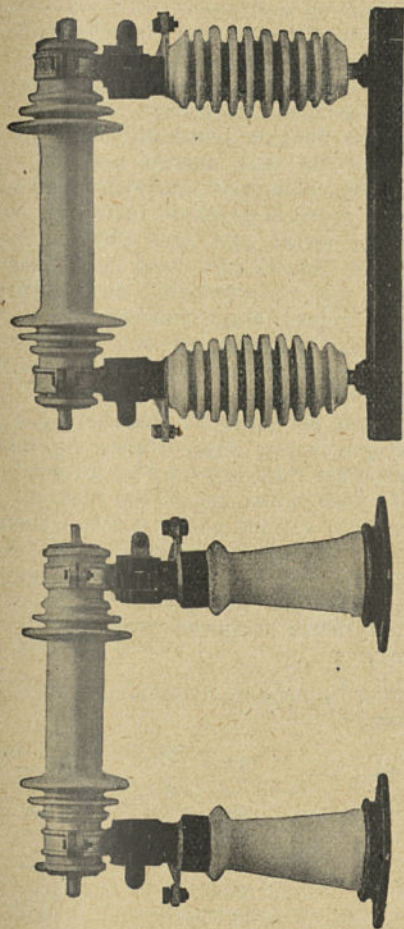


FIG. 84. — Coupe-circuit haute tension à poignée porcelaine.
Construction Merlin et Gérin.

Il sera bon de cloisonner les coupe-circuit, c'est-à-dire de disposer des cloisons entre les pôles différents voisins, pour éviter que l'arc entre points d'attache, ne dévie pour se former entre pôles de noms différents.

Les fusibles fondent instantanément vers 130 à 150 p. 100 de leur charge normale; mais on ne peut leur donner la *sensibilité* d'un automatique. En outre le point de fusion est *moins précis* car le métal peut être plus ou moins régulier. Par contre ils sont bon marché, constituent automatiquement des appareils *retardés*, le retard étant fonction de la valeur de la surintensité, ce que les disjoncteurs ne réalisent qu'au moyen d'un dispositif compliqué.

D'une façon générale, on installera des fusibles, lorsque le peu d'importance de l'installation à protéger rend le prix d'un automatique prohibitif. C'est ainsi qu'on en met sur les petits moteurs, sur les petits postes d'abonnés de quelques dizaines de kilowatts. Mais lorsqu'il s'agit de protéger des machines importantes et coûteuses, des postes de puissance notable, on devra toujours préférer un bon automatique.

INTENSITÉS NORMALES ADMISSIBLES DANS DES FILS FUSIBLES :

Diamètre en 1/10 mm.	Plomb	Aluminium ou argent
—	—	—
	amp.	amp.
2	0,8	3,5
3	1,3	6,5
4	2	10
5	2,7	14

Diamètre en 1/10 mm.	Plomb	Aluminium ou argent
—	—	—
	amp.	amp.
6	3,5	19
7	4,6	24
8	5,8	29
9	7	34
10	8,5	40
12	11,5	52
14	15	66
16	19	80
18	23	94
20	27	111
25	42	158
30	60	208
35	73	262
40	88	320
45	103	
50	127	
60	200	

DIMENSIONS ADMISSIBLES POUR LES LAMES
FUSIBLES :

Pour 66 ampères en fonctionnement normal,
on pourra prendre :

Alumin. ..	3×0,3	4×0,2	5×0,1	
Alliage ..	9×1	10×0,8	12×0,5	16×0,3

Pour 100 ampères :

Alumin..	4,5×0,3	5,5×0,2	8×0,1	
Alliage .	9,5×2	13×1	15,5×0,8	19×0,5

Pour 150 ampères :

Alumin	5×0,5	6×0,4	7×0,3	8×0,2
Alliage	11×3	14×2	20×1	

Pour 200 ampères :

Alumin. . .	7×0,5	8×0,4	9×0,3	11×0,2
Alliage . . .	15×3	18,5×2		

Pour 300 ampères :

Aluminium	11,5×0,5	12×0,4	13,5×0,3	
Alliage		17×5	23×3	

L'intensité de fusion étant égale à 4/3 de l'intensité normale.

Tous ces résultats n'ont rien d'absolu, étant donné la foule de conditions qui influent sur la fusion des fils et lames, mais cela nous donne un ordre de grandeur.

SPÉCIFICATION D'UN COUPE-CIRCUIT. — La spécification comprend :

Désignation du système de support;

Désignation du métal employé, comme fusible ;

Intensité du courant normal;

Intensité du courant de fusion instantanée (130 à 150 p. 100 du courant normal);

Tension entre bornes;

Nombre de pôles de l'appareil (autant de pôles que de conducteurs, fils neutres exceptés, ceux-ci ne devant pas recevoir de fusibles);

Conditions de résistance diélectrique et d'échauffement de la *Chambre syndicale*.

3. Appareils de réglage

Nous allons d'abord préciser les notions de résistance et de réactance, qui sont à la base de ces appareils, puis nous étudierons successivement :

Les rhéostats de démarrage ;
 Les rhéostats de réglage à courant fort ;
 Les rhéostats de champ ;
 Les réactances ;
 Les auto-transformateurs ;
 Les régulateurs automatiques ;
 Les survolteurs ;
 Les compensatrices.

Résistances. — D'après la loi d'Ohm :

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Tension aux bornes}}{\text{Résistance}}$$

on peut régler la valeur d'un courant en intercalant en série avec ce courant des résistances de valeur plus ou moins grandes.

La résistance d'un conducteur dépend :

De sa *nature* : les différents métaux ont des résistivités très différentes (Résistivité = résistance d'un conducteur de 1^m de section et de 1^m de longueur) ;

De sa *section* : la résistance est inversement proportionnelle à la section d'un conducteur ;

De sa *longueur* : la résistance est proportionnelle à la longueur du conducteur.

Il faut tenir compte d'autre part de l'*échauffement* du conducteur, qui ne devra pas être trop grand, sans quoi le conducteur rougirait, puis fondrait.

Les métaux employés pour la constitution des résistances sont :

Les alliages de la famille du *mallechort* : leur résistivité varie de 20 à 40 microhms cen-

timètre. Ils sont inoxydables, mais leur prix est assez élevé;

Les alliages du genre *ferro-nickel*: résistivité de 40 à 80. Ils sont inoxydables, lorsque le nickel est en quantité suffisante;

Les alliages du genre *constantan*, utilisés surtout dans les appareils de précision, leur résistance étant indépendante de la température. La résistivité est de l'ordre de 50;

Le *cuivre*: résistivité de 1,5. Trop peu résistant pour les usages courants;

Le *fer*: résistivité de 10 à 14, suivant composition et écrouissage. Très bon marché, et serait très employé, s'il n'était pas oxydable: on en fait des résistances provisoires;

La *fonte*: résistivité de 100. Très pratique pour les grosses sections. Pour les petites sections elle serait trop fragile.

La forme sous laquelle on emploie les résistances peut varier, suivant la valeur de la résistance à obtenir et les intensités qui doivent les traverser;

Les *fils enroulés sur des cadres* isolés à l'amiante sont pratiques pour les résistances élevées (fils fins), à condition que la température ne puisse pas s'élever beaucoup, sans quoi les fils en s'allongeant viendraient se toucher;

Les *fils en boudins* sont très employés pour les résistances moyennes (fils de 1 à 4 $\frac{m}{m}$); la dilatation se produit par augmentation du diamètre des spires, qui ne viennent donc pas se toucher;

Les *lames minces* enroulées ou tendues des cadres ont l'avantage de posséder une grande surface de refroidissement;

Les *cadres en fonte* sont les plus pratiques pour des intensités importantes, la section est alors assez forte pour que la fonte soit solide, la surface de refroidissement est grande.

Réactance. — Lorsque dans un circuit à courant alternatif il y a production de champ magnétique, par exemple lorsqu'il y a un enroulement autour d'une masse de fer, l'ensemble ne suit pas la loi d'Ohm : le circuit se comporte comme s'il y avait une résistance plus forte que réellement, tenant compte à la fois de la résistance proprement dite et de l'effet de l'enroulement producteur d'un champ magnétique.

On pourrait appliquer la loi d'Ohm à la résistance fictive ainsi constituée, que l'on nomme *impédance* :

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Tension aux bornes}}{\text{Impédance}}$$

Si la résistance est négligeable, il ne subsiste plus que l'action de la production du champ magnétique, que l'on caractérise par la *réactance* :

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Tension aux bornes}}{\text{Réactance}}$$

La réactance dépend du nombre de spires de l'enroulement, de la dimension du fer, de la fréquence du courant.

Le passage du courant dans une réactance produit un *décalage* de l'intensité en arrière de la tension; ce passage correspond donc à l'absorption de *puissance réactive*.

On fera varier la valeur de la réactance soit

en faisant varier les dimensions ou la position du fer, soit en faisant varier le nombre des spires.

Le fer sera constitué de tôles minces isolées, comme un noyau de transformateur, pour éviter la production de courants parasites.

Rhéostats de démarrage. — Leur caractéristique principale est de ne rester en fonction que pendant un temps très court, ce qui permet d'adopter des densités de courant élevées.

Ils se composent généralement d'un *commutateur*, muni d'un nombre de touches variable, monté sur une plaque de marbre, et derrière lequel sont placées les *résistances*. Les résistances sont partagées en sections, chaque section étant comprise entre deux touches; les sections sont proportionnées de façon que le démarrage soit bien progressif.

Pour des démarrages fréquents, le commutateur est remplacé par un combinateur.

Pour des moteurs puissants, on construit des démarreurs dans l'*huile*, de façon à pouvoir réduire leurs dimensions, et assurer une longue durée aux touches, les étincelles étant étouffées.

Souvent aussi, on emploie les *rhéostats liquides*. Un rhéostat liquide comporte une cuve en fonte, posée sur isolateurs, remplie de liquide conducteur (eau acidulée) et dans laquelle vient plonger plus ou moins profondément une électrode métallique.

Quelquefois aussi la cuve est un cylindre en poterie, dont le fond est constitué par une masse de fonte servant d'électrode, l'autre électrode étant constituée par une tige plongeant dans le cylindre.

RHÉOSTAT DE DÉMARRAGE A COURANT CONTINU.
 — Le commutateur est unipolaire; il y a un *plot mort*, qui coupe le courant; ce *plot mort* doit être muni d'un pare-étincelles (fig. 85).

Le commutateur est souvent muni d'un *déclanchement* à manque de tension. Le levier est, à cet effet, rappelé vers la touche de coupure par un ressort, mais un électro, enroulé

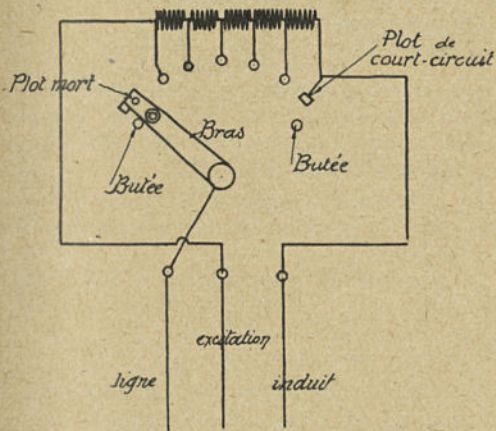


FIG. 85. — Rhéostat de démarrage à courant continu.

en dérivation sur la ligne, le fait coller dans la position de court-circuit tant qu'il y a de la tension. Quelquefois, il y a aussi un déclanchement à maxima : un électro série coupe le courant de l'électro dérivation lorsque l'intensité prend des valeurs dangereuses.

Spécification d'un démarreur à courant continu. Cette spécification devra comprendre :

La tension et l'intensité du moteur à démarrer, la nature de son excitation; si possible la résistance de l'induit;

La façon dont se fait le démarrage, à vide ou en charge; la fréquence des démarrages; la nature de la machine commandée, pour prédéterminer la durée du démarrage;

Les limites de l'échauffement et la résistance diélectrique des isolants (conditions de la *Chambre syndicale*);

Le mode de protection.

RHÉOSTAT DE DÉMARRAGE POUR MOTEUR ASYNCHRONÉ MONOPHASÉ. — Un tel rhéostat comprend généralement les appareils suivants, groupés sur un petit tableau (fig. 48) :

Un inverseur bipolaire à deux directions donnant une position démarrage et une position marche;

Un rhéostat de démarrage triphasé relié au rotor;

Une résistance fixe;

Une réactance fixe.

Spécification du démarreur monophasé :

Puissance et tension entre bagues du moteur; si possible la résistance de l'induit;

Façon dont se fait le démarrage : presque toujours à vide; fréquence des démarrages;

Limites de l'échauffement et résistance diélectrique des isolants (conditions de la *Chambre syndicale*);

Mode de protection.

RHÉOSTAT DE DÉMARRAGE POUR MOTEUR ASYNCHRONÉ TRIPHASÉ A BAGUES. — Un démarreur triphasé comprend généralement : un commu-

tateur tripolaire dont les 3 balais sont reliés électriquement; les touches sont connectées à 3 jeux de résistances sectionnées. Il y a rarement un déclenchement, le fonctionnement des électros en courant alternatif étant moins précis qu'en continu (fig. 86).

Quelquefois le rhéostat est bipolaire; on ne

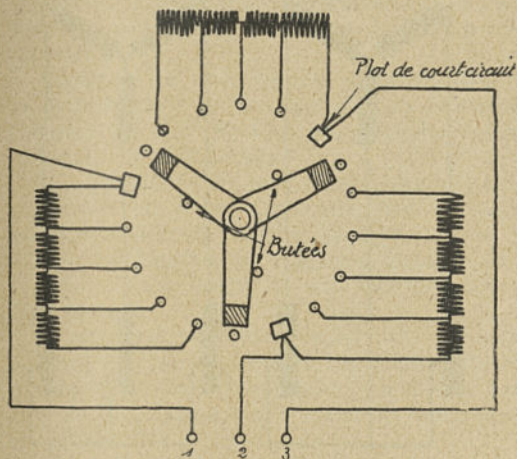


Fig. 86. — Rhéostat de démarrage à courant triphasé.

met de résistances que sur deux phases; c'est plus économique et cela ne présente pas d'inconvénient pour les petits moteurs: pour de gros moteurs il y aurait à craindre le déséquilibre des phases (fig. 87).

Spécification d'un démarreur triphasé. Cette spécification comporte les indications suivantes :

Puissance du moteur et tension entre les bagues de l'induit; si possible la résistance d'une phase de l'induit;

Façon dont se fait le démarrage : à vide ou en charge; fréquence des démarrages; nature de la machine commandée pour prédéter-

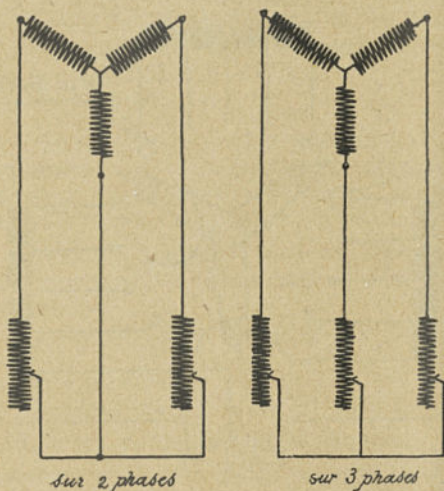


FIG. 87. — Démarrage d'un moteur triphasé sur deux ou trois phases.

miner la durée du démarrage. Le moteur est-il ou non à relevage de balais;

Limites de l'échauffement et de la résistance diélectrique des isolants (conditions de la *Chambre syndicale*);

Mode de protection;

Mode de manœuvre.

Rhéostats de réglage des courants forts. — Nous comprendrons sous ce nom les rhéostats série des moteurs à courant continu et les rhéostats de glissement des moteurs à courant alternatif, lorsque ces appareils doivent assurer non seulement le démarrage mais aussi le *réglage de la vitesse*, c'est-à-dire doivent rester en circuit d'une façon permanente; les résistances doivent être calculées beaucoup plus largement.

A part cette question du dimensionnement, et le fait qu'ils ne comportent pas de déclenchement, ils sont en tout point analogues aux rhéostats de démarrage.

Leur spécification sera identique mais devra comporter en plus la mention que le service est permanent, et d'autre part, il faudra indiquer les limites de vitesse à obtenir, et la précision avec laquelle ces vitesses doivent être réglées.

Il sera bon également pour les moteurs à courant continu de donner une caractéristique à vide du moteur (tension aux bornes en fonction de l'excitation, de la machine fonctionnant en génératrice à vide).

A ces types de rhéostats se rattachent les rhéostats d'artères destinés au réglage de la tension sur les lignes, rhéostats qui sont en série sur les lignes.

On devra indiquer pour ces appareils :

Courant normal, courant maximum dans la ligne. Service;

Etendue du réglage de tension pour le courant normal; précision du réglage à obtenir (par exemple : étendue, 15 volts; précision par 2 volts);

Limites de l'échauffement et de la résistance diélectrique (conditions de la *Chambre syndicale*);

Mode de protection;

Mode de commande.

Rhéostats de champ. — Destinés au réglage par l'excitation de la tension des génératrices à courant continu ou alternatif, du déphasage des moteurs synchrones, de la vitesse des moteurs shunt à courant continu.

Les courants en question sont faibles relativement aux courants principaux; il n'y a pas de plot mort, car l'excitation ne doit jamais être coupée. Les rhéostats sont unipolaires.

La résistance doit être assez subdivisée et les touches assez nombreuses pour que la tension puisse être réglée avec précision.

Spécification d'un rhéostat de champ. Cette spécification, pour permettre un calcul exact du rhéostat, devra comporter :

Pour une *dynamo à courant continu* : la caractéristique à vide de la machine (courbe de la tension aux bornes en fonction de l'excitation, à vide), la résistance des inducteurs, la chute de tension en charge, la tension et l'intensité en charge normale.

Pour un *alternateur* : la caractéristique à vide, un point de la caractéristique en court-circuit (courbe de l'intensité débitée en court-circuit en fonction de l'intensité d'excitation), la résistance des inducteurs, la puissance apparente, la tension et le facteur de puissance en charge normale;

Pour un *moteur synchrone*, la courbe en V pour la puissance normale (courbe de l'intensité absorbée en fonction de l'excitation), la résistance des inducteurs, la puissance, la tension et le facteur de puissance;

Pour un *moteur shunt à courant continu*, la caractéristique à vide en dynamo, la chute de vitesse en charge, la résistance des inducteurs, l'intensité, la vitesse et la tension normales. L'écart de vitesse maximum à réaliser.

En outre, pour toutes les machines :

La précision du réglage cherché;

Les limites de l'échauffement et de la résistance diélectrique (conditions de la *Chambre syndicale*);

Le mode de protection;

Le mode de commande.

Réactances. — Ces appareils sont employés :

Soit pour absorber un *excès de voltage* sans le gaspiller en énergie active comme dans un rhéostat : c'est ainsi qu'on alimentait autrefois les lampes à arc sous les tensions courantes, quoique les lampes elles-mêmes ne pouvaient supporter qu'une tension réduite, en les mettant en série avec une réactance;

Soit pour produire un *décalage* de l'intensité d'un circuit sur la tension : c'est le cas des bobines qui servent au démarrage des moteurs monophasés.

Les réactances sont constituées par un circuit magnétique, généralement ouvert, muni d'un enroulement. La valeur de la réactance peut être rendue variable par variation de l'entrefer ou du nombre de spires (dans ce dernier cas au moyen d'un commutateur).

Spécification d'une réactance. La spécification comprend :

La valeur de la puissance réactive à mettre en jeu;

L'intensité qui doit la traverser;

S'il y a lieu, l'étendue et la précision du réglage à faire;

La tension de la ligne;

Les limites de l'échauffement et de la résistance diélectrique (conditions de la *Chambre syndicale*);

Mode de protection;

Mode de commande, s'il y a lieu.

Auto-transformateurs. — On désigne sous ce nom des transformateurs, dans lesquels le secondaire est constitué par une partie des spires primaires, partie qui peut être variable au moyen de *prises* reliées à un insérateur (fig. 88).

Les auto-transformateurs sont particulièrement avantageux lorsque le rapport de transformation est faible, car le poids de cuivre est notablement moindre que dans un transformateur à deux enroulements.

On les emploie particulièrement pour le *démarrage* des moteurs asynchrones puissants à cage d'écureuil, des moteurs synchrones démarant en asynchrones.

Spécification d'un auto-transformateur. La spécification d'un auto-transformateur est en principe identique à celle d'un transformateur ordinaire, le rapport de transformation, la tension secondaire en charge, la puissance étant donnés pour chaque prise du secondaire.

Lorsque l'appareil est destiné au démarrage d'un moteur, on pourra se dispenser de faire l'étude de toutes ces données, et donner au constructeur :

Pour le démarrage d'un moteur asynchrone : la puissance, la tension normales et l'intensité, le courant à vide, la tension de court-circuit (tension qui, appliquée aux bornes du stator, le rotor étant calé, produit dans le stator un courant égal au courant normal) ;

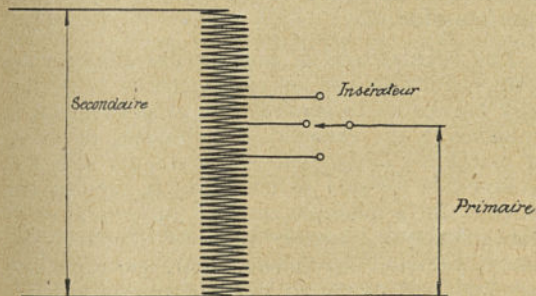


FIG. 88. — Autotransformateur.

Pour le démarrage d'un moteur synchrone à vide, en asynchrone, la détermination est plus délicate, car le démarrage dépend beaucoup de la construction du moteur synchrone : on donnera au constructeur toutes les caractéristiques que l'on connaît du moteur synchrone.

Régulateurs. — On appelle ainsi des appareils automatiques comportant un circuit dit *de contrôle* qui produit des actions magné-

tiques en relation par leur grandeur avec les variations d'une caractéristique d'une machine ou d'une ligne : tension d'une génératrice, tension aux bornes d'une ligne, intensité d'un courant, facteur de puissance d'un réseau, puissance passant dans une ligne; ces variations magnétiques, au moyen d'un système plus ou moins complexe, actionnent l'appareil qui sert à régler cette constante ou appareil de manœuvre de manière à compenser les variations et à maintenir sa valeur aussi constante que possible.

Les *régulateurs de tension* des génératrices sont influencés par les variations de la tension aux bornes de la génératrice, et provoquent la manœuvre du rhéostat d'excitation, de façon à maintenir la tension constante. Ils sont dits *compensés* lorsque ce n'est pas la tension aux bornes de la machine qui est maintenue constante, mais la tension au point d'utilisation : on y parvient en faisant agir, en plus d'un enroulement parcouru par un courant proportionnel à la tension aux bornes, ou enroulement dérivation, un enroulement parcouru par un courant proportionnel au courant principal (pris sur un transformateur d'intensité). L'action est ainsi d'autant plus forte que le courant est plus intense, c'est-à-dire que la chute de tension en ligne est plus considérable.

Les *régulateurs de feeders* ont pour but de régler la tension à l'extrémité du feeder (ligne partant de la centrale et aboutissant à un centre de consommation) par action, non pas sur l'excitation de la génératrice, mais sur un survolteur de feeder; on peut ainsi régler la

tension sur chaque feeder indépendamment des autres, selon la charge.

Les régulateurs d'intensité ont pour but de régler l'intensité d'un courant par l'action d'un courant proportionnel à l'intensité (pris sur transformateur d'intensité). L'organe manœuvré est un rhéostat de feeder ou encore l'excitation de la génératrice. Ces appareils sont employés pour les fours électriques.

Les régulateurs de vitesse ont pour but le réglage de la vitesse d'une machine par l'action d'une force électromotrice proportionnelle à la vitesse de cette machine (produite par exemple par une magnéto entraînée par cette machine). L'organe manœuvré est l'admission du moteur qui commande la machine. Ces appareils sont rarement électriques, aussi n'y insisterons-nous pas.

Les régulateurs de facteur de puissance ont pour but de maintenir le facteur de puissance d'un réseau supérieur à une certaine valeur en agissant sur l'excitation d'un moteur synchrone fonctionnant sur ce réseau.

Les régulateurs sont dits *asservis* lorsque l'organe commandé réagit sur l'organe de commande de manière à limiter son action; l'asservissement est nécessaire pour la stabilité de l'appareil.

En effet, soit un régulateur de tension commandant un rhéostat de champ : la tension ne suit pas instantanément les mouvements du rhéostat : il y a une certaine inertie qui fait que la tension est un peu en retard. Supposons alors que la tension baisse; le rhéostat va se déplacer vers le plot de court-circuit; il

se peut, si le régulateur est à action rapide (et c'est ce qu'on cherche), que le rhéostat arrive au court-circuit avant que la tension ait augmenté suffisamment pour ramener au repos l'organe de manœuvre. La tension va alors, au bout de quelques fractions de seconde, monter brusquement au maximum, d'où action en sens inverse de l'organe de contrôle; le même phénomène pourra se produire alors et on aura des oscillations sans cesse. Au contraire, si la manœuvre du rhéostat a pour effet d'arrêter l'action de l'organe de contrôle, la variation durera juste le temps nécessaire pour trouver une nouvelle position d'équilibre.

Dans un bon régulateur, le fonctionnement de l'organe de manœuvre doit être d'autant plus rapide que la variation qui l'a provoqué est plus grande.

L'*organe de contrôle* d'un régulateur est constitué généralement par l'action d'un enroulement fixe sur un enroulement mobile en série avec lui; les variations de courant provoquent un déplacement relatif des deux enroulements, mais l'enroulement mobile est porté par un levier dont les déplacements commandent l'organe de manœuvre. D'autre part cet organe de manœuvre réagit sur la position du levier de manière à freiner son action.

Dans les appareils *Thury*, l'organe de manœuvre est constitué par une roue dentée qui peut être entraînée dans un sens ou dans l'autre par deux cliquets oscillant sous l'action d'une came commandée par un moteur. L'engrènement des deux cliquets, relativement à la roue, est commandé par le levier de l'organe de

contrôle; si le levier est dans sa position d'équilibre, les deux cliquets échappent et la roue dentée est immobile; s'il incline dans un sens correspondant à une attraction des bobines, un des cliquets engrène et la roue tourne dans un sens déterminé; s'il incline dans le sens correspondant à une répulsion des bobines, c'est l'autre cliquet qui engrène et entraîne la roue dans l'autre sens (fig. 89).

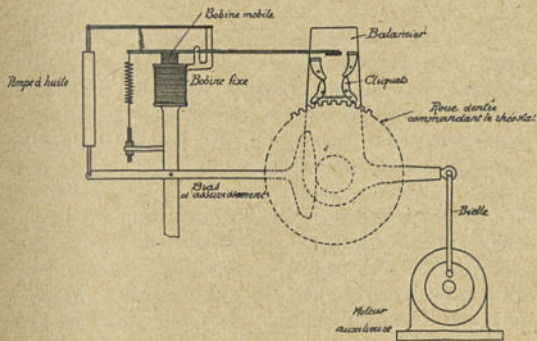


FIG. 89. — Schéma du régulateur de tension Thury.

Un secteur denté, entraîné par la roue dentée, agit sur un levier qui tend plus ou moins le ressort antagoniste du levier de l'organe de contrôle. C'est le dispositif d'asservissement.

Lorsqu'on a des efforts considérables à vaincre, comme dans les régulateurs de vitesse des turbines hydrauliques, la manœuvre est réalisée par un piston se déplaçant dans un cylindre rempli d'huile des deux côtés du

piston. Une pompe assure une circulation continue sous une pression déterminée. Un système de soupapes permet de mettre un côté du piston en relation avec l'admission de la pompe, l'autre étant au refoulement, ou l'inverse, ou encore l'admission et le refoulement en communication directe. On conçoit qu'on puisse commander ces soupapes par l'organe de contrôle, de sorte que le piston se déplace à volonté, à droite ou à gauche, ou reste immobile.

Enfin dans les appareils du genre *Tirill*, destinés à la régulation de tension des gros alternateurs, on ne manœuvre pas le rhéostat de champ, mais on le court-circuite périodiquement avec une fréquence plus ou moins grande, selon la valeur de la tension.

Dans ces appareils, ce n'est d'ailleurs pas sur le champ des inducteurs que l'on agit, mais sur le champ de l'excitatrice.

L'utilité des régulateurs est très grande puisqu'ils remplacent la régulation à la main, qui est plus ou moins précise, et sûrement moins rapide. On peut, en outre, libérer l'homme du tableau, qui peut devenir disponible pour une besogne plus productive. Il faut cependant ajouter que les meilleurs appareils ne valent rien s'ils ne sont pas entretenus avec minutie et réglés avec soin.

Spécification d'un régulateur. La spécification d'un régulateur comporte celle de l'appareil qu'il est chargé de manœuvrer, avec, en plus :

Sensibilité, c'est-à-dire valeur de la plus petite variation pour laquelle l'appareil agit. Pour les régulateurs de tension, on peut cons-

truire des appareils sensibles à plus ou moins 2 p. 100. C'est largement suffisant dans la plupart des cas;

Rapidité, c'est-à-dire temps que met le régulateur à régler la plus forte variation qui peut se produire (par exemple l'élévation de tension qui se produit lorsqu'un alternateur en pleine charge est brusquement mis à vide par l'ouverture d'un robinet). La rapidité des régulateurs modernes est de l'ordre de la seconde.

Survolteurs-dévolteurs. — Ce sont des appareils destinés à régler la tension sur une ligne ou aux bornes d'une machine, en mettant en série avec cette ligne ou cette machine une tension produite par une petite machine auxiliaire.

Les survolteurs ajoutent leur tension à la tension de la machine. Un dévolteur oppose au contraire sa tension à celle de la machine. Un même appareil peut être à la fois survolteur et dévolteur.

Les survolteurs sont utilisés :

A la charge et à la décharge à potentiel constant des batteries d'accumulateurs sur un réseau à tension constante;

A la régulation des commutatrices;

A la régulation de la tension des feeders.

SURVOLTEURS D'ACCUMULATEURS. — Une dynamo est placée en série avec la batterie, l'ensemble étant en parallèle avec la dynamo principale; l'excitation du survolteur est en série avec le courant principal. Lorsque l'intensité est faible, la tension aux bornes du survolteur

est faible, et la batterie se charge. Au contraire, lorsque l'intensité est forte, le survolteur est excité fortement, la tension de l'ensemble batterie + survolteur est plus forte que la tension de la machine, la batterie se décharge (fig. 90).

On peut aussi exciter le survolteur par 2 inducteurs, l'un en série, l'autre en dérivation.

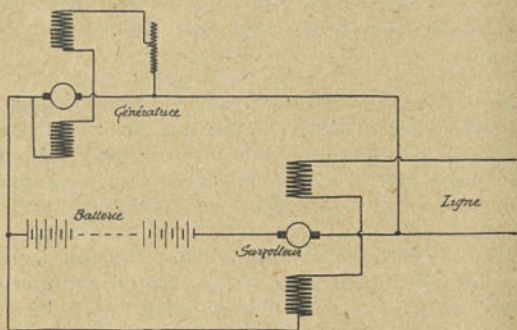


Fig. 90. — Survolteur d'accumulateurs.

qui normalement se font équilibrer. Selon que l'enroulement dérivation ou l'enroulement shunt prédomine, la tension du survolteur s'opposera ou s'ajoutera à celle de la batterie, provoquant ainsi sa charge ou sa décharge (fig. 91).

Les survolteurs d'accumulateurs sont donc automatiques et ne nécessitent pas de réglage: ce sont des survolteurs-dévolteurs.

SURVOLTEURS DE FEEDERS A COURANT CONTINU. — Au lieu de prévoir une tension sur-
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

bondante et de dissiper l'excès dans des résistances (rhéostats de feeders), il est préférable de mettre en série sur le feeder une petite machine à excitation fortement compoundée, qui

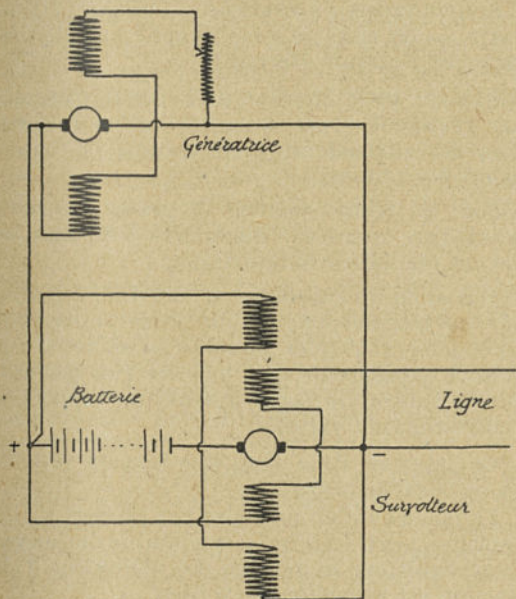


Fig. 91. — Surovteur d'accumulateurs. Autre dispositif.

ajoute sa force électromotrice à celle des génératrices. C'est un survolteur de feeder.

L'excitation série et par suite la tension de la machine étant d'autant plus grande que le courant est plus intense, le fonctionnement est

sensiblement automatique. Cependant si on veut une tension très régulière, il faut régler le rhéostat du survolteur soit à la main, soit au moyen d'un régulateur de tension.

SURVOLTEURS DE FEEDERS A COURANT ALTERNATIF. — On emploie pour remplir un rôle analogue en courant alternatif :

Soit un petit *alternateur* à voltage variable par réglage de l'excitation, et calé sur l'arbre d'un des alternateurs pour assurer la concordance des phases;

Soit un *transformateur à prises variables*, muni d'un insérateur manœuvré à la main ou par un régulateur automatique;

Soit enfin un *régulateur d'induction* constitué par un transformateur dont le primaire et le secondaire, analogues au stator et au rotor d'un moteur asynchrone, sont mobiles l'un par rapport à l'autre, de façon à avoir un rapport de transformation variable.

On intercale donc ainsi une tension variable en série sur le feeder.

La manœuvre du primaire par rapport au secondaire peut se faire à la main ou au moyen d'un régulateur de tension. Le régulateur d'induction est survolteur-dévolteur.

SURVOLTEURS DE COMMUTATRICES. — La tension continue d'une commutatrice ne pouvant être réglée par l'excitation, il faut faire varier la tension alternative. On le fait en mettant un survolteur d'un des trois types précédemment étudiés pour les feeders, sur le primaire de la commutatrice.

SPÉCIFICATION D'UN SURVOLTEUR. — Un survolteur est, suivant le cas, une dynamo, un alternateur ou un transformateur, et devra donc être spécifié comme tel.

Sa tension est égale à la tension qu'il s'agit d'ajouter à la tension de la machine ou de la ligne pour produire le réglage maximum ou la moitié de cette tension si l'appareil est survolteur-dévolteur. Son intensité est l'intensité maxima de la ligne ou de la machine.

La tension prise comme base pour la résistance diélectrique des isolants sera, non la tension du survolteur, mais la tension de la ligne dans laquelle il est intercalé.

Compensatrices. — Pour utiliser du courant continu à 110 volts pour l'éclairage et cependant le transporter sous 220 volts, c'est-à-dire avec une perte en ligne moindre, on emploie souvent la disposition à 2 *ponts* : les 2 tensions peuvent être produites par deux machines ou par une machine à 2 collecteurs.

On peut aussi employer des génératrices ordinaires à 220 volts et placer sur le réseau une *compensatrice*, qui a pour but de maintenir l'égalité des tensions sur les deux ponts, quelles que soient les différences de l'intensité sur ces deux ponts.

Une compensatrice comportera deux machines accouplées, montées chacune aux bornes d'un des deux ponts; la machine branchée sur le pont où la force électromotrice tend à monter, c'est-à-dire le moins chargé, entraînera l'autre machine qui fournira du courant à l'autre pont, le plus chargé.

Lorsque le réglage est fait à la main, les machines peuvent être simplement shunt (fig. 92);

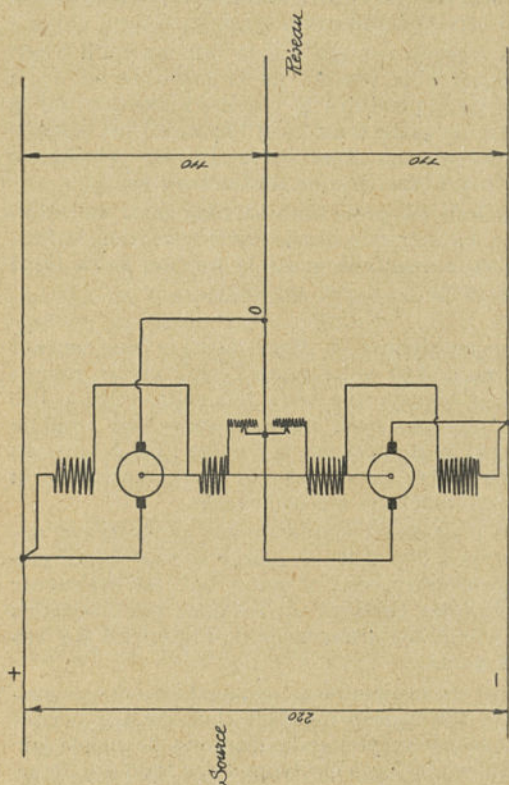


Fig. 92. — Compensatrice shunt.

pour un fonctionnement automatique, on croise les excitations shunt, de manière que l'excès

de tension du pont peu chargé tend à surexciter la machine débitant dans le pont le plus chargé. En outre, on ajoute un enroulement série (fig. 93).

Spécification d'une compensatrice. C'est la spécification de 2 génératrices continues.

La tension est égale à la tension normale d'un pont.

Le courant est égal à la moitié du courant

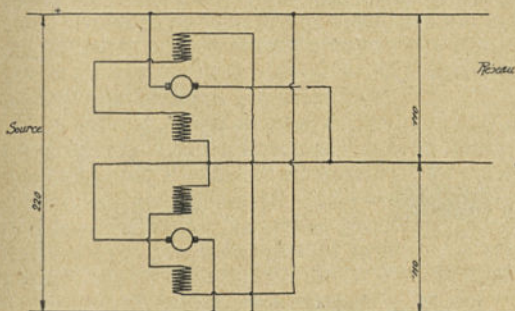


FIG. 93. — Compensatrice à excitations croisées.

de déséquilibre, c'est-à-dire de la différence entre le débit des 2 ponts, différence qu'il faudra évaluer d'après l'utilisation du réseau.

Si on admet qu'un seul pont peut se trouver à sa charge normale, l'autre étant complètement à vide, l'intensité sera égale à la moitié de l'intensité totale de la ligne. En réalité on prend généralement beaucoup moins, surtout si le réseau est constitué par un grand nombre d'appareils d'utilisation et si, comme il est

naturel, la force motrice est prise entre les fils extrêmes sous 220 volts.

Enfin on indiquera comment est fait le réglage, à la main ou automatique, et avec quelle précision il doit être fait.

On emploie aussi comme compensatrices pour un réseau à 3 fils, les *bobines d'équilibre*. La génératrice porte 2 bagues reliées à 2 points opposés de l'enroulement, de façon à donner un courant monophasé : on envoie ce courant sur une forte réactance, qui ne laisse pas passer

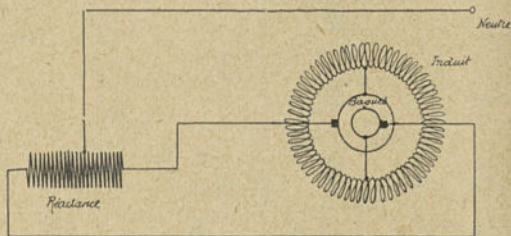


FIG. 94. — Montage d'une bobine d'équilibre.

le courant monophasé, à cause de sa forte impédance. On réunit le point central de l'enroulement de la bobine au fil neutre : le courant de déséquilibre, qui est continu, passe dans la bobine et se partage également entre les deux portions de l'enroulement. L'appareil est plus simple, mais il nécessite une modification de la génératrice, et l'équilibrage est moins complet (fig. 94).

Donner la tension et la valeur du courant de déséquilibre, ainsi que toutes les caractéristiques de la dynamo.

4. Appareil de protection

Les appareils de protection sont destinés à parer aux effets des *surtensions* dans les réseaux, sans arrêter le fonctionnement du réseau.

Classification. — Les surtensions peuvent, suivant leur origine, être classées en deux catégories :

Les surtensions d'*origine interne*, dues aux incidents de l'exploitation des réseaux : variations brusques de charge des machines par suite d'ouvertures ou de fermetures de circuits importants; résonances dues à la production d'harmoniques dans les machines;

Les surtensions d'*origine externe*, dues à des phénomènes atmosphériques : charge statique des lignes par élévation du potentiel de l'atmosphère, ou par induction des nuages électrisés, décharges à haute fréquence produites par induction avec les décharges se produisant entre nuages, coups de foudre directs sur la ligne.

Pour parer à ces différents accidents, on emploie les appareils suivants :

Pour les *charges statiques*, les appareils du type *déchargeur*;

Pour les décharges à *haute fréquence* par induction, les appareils du type *parafoudre*;

Pour les *coups de foudre* directs, les appareils du type *paratonnerre*;

Pour les *surtensions d'origine interne*, les *limiteurs de tension*.

Déchargeurs. — Dans ces appareils la ligne est en permanence reliée à la terre, la charge statique devant s'écouler par cette liaison.

DÉCHARGEURS HYDRAULIQUES. — Le conducteur employé est un jet d'eau, qui vient frapper une plaque reliée à un point de la ligne, ou encore une colonne liquide mince.

Il y a donc une *perte d'énergie* constante, qui n'a pas grand inconvénient pour les centrales importantes; pour des tensions jusqu'à 20.000

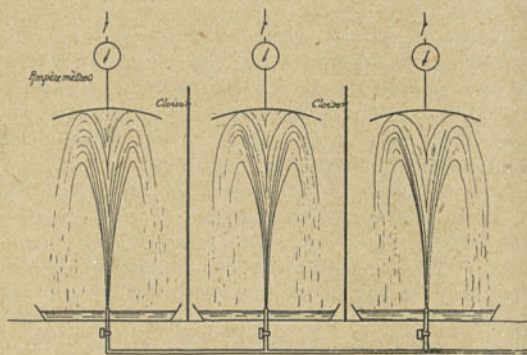


FIG. 95. — Déchargeur à jet d'eau. Schéma.

volts, la puissance ainsi dissipée est de l'ordre de 1 à 4 kw.

La résistance du jet d'eau dépend de la pureté de l'eau, les eaux pures étant peu conductrices. On peut faire varier la section du jet. Un ampèremètre intercalé sur le trajet de l'appareil permet de faire le réglage. La détermination de l'intensité nécessaire en service normal pour une bonne protection est empirique; chaque constructeur a sa règle.

Ces appareils sont très sûrs (fig. 95 et 96).

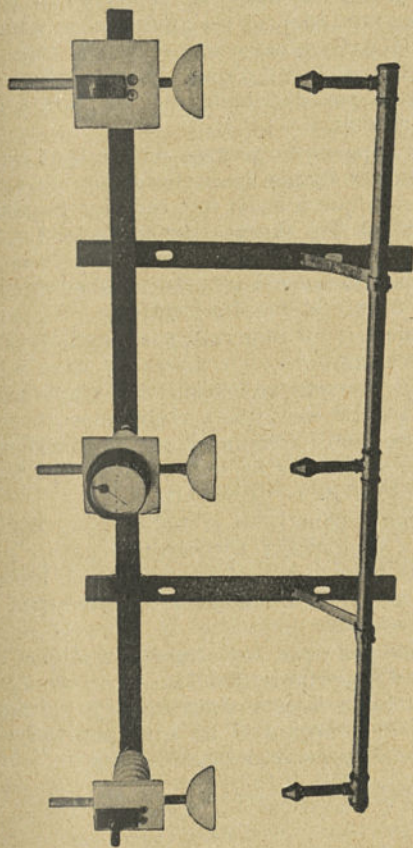


FIG. 96. — Déchargeur à jet d'eau. Construction Merlin et Gérin.

BOBINES DE SELF. — Une forte réactance intercalée entre la ligne et la terre ne laisse passer qu'une énergie insignifiante en courant alternatif. Au contraire une décharge continue, comme l'écoulement d'une charge statique ne rencontrera pas d'obstacle, et s'écoulera à travers la réactance.

Un tel appareil ne protège pas du tout contre les décharges dynamiques, tandis qu'un appareil hydraulique a aussi une certaine puissance d'écoulement des charges dynamiques. La difficulté consiste dans la détermination de la valeur de la réactance à employer : chaque constructeur a un système différent.

Cet appareil ne pourrait pas s'appliquer en courant continu.

On met souvent le *neutre* des transformateurs à la terre; dans une certaine mesure, cette disposition peut remplacer un déchargeur à bobine de self; mais les avis sont très partagés sur l'efficacité de ce dispositif.

En résumé, dans l'état actuel de nos connaissances, le déchargeur hydraulique paraît plus sûr que la bobine de self et est indiqué, lorsque la question de consommation n'entre pas en ligne de compte.

A remarquer que les charges statiques ne prennent d'importance que dans le cas de lignes aériennes longues et surtout en pays de montagne. C'est pourquoi il ne sera pas toujours nécessaire de prévoir de déchargeurs.

Spécification d'un déchargeur. On devra indiquer :

La tension normale;

La fréquence;

Les caractéristiques de fonctionnement, c'est-à-dire la quantité d'énergie qui devra pouvoir être écoulee pendant un temps déterminé : cette quantité est assez difficile à déterminer, car elle dépend des caractéristiques de la ligne; on ne la fera fixer avec quelque précision qu'après une étude d'un spécialiste;

Les limites d'échauffement pour les caractéristiques de fonctionnement (conditions de la *Chambre syndicale*);

La résistance diélectrique des isolants (conditions de la *Chambre syndicale*);

Pour les appareils hydrauliques : la quantité d'eau dont on dispose;

Le nombre de pôles;

Le mode de protection : cloisonnement entre pôles et grillages avec l'extérieur.

Parafoudres. — On distinguera les parafoudres à plaques, à cornes, à rouleaux, électrolytiques; enfin on étudiera les appareils auxiliaires : résistances, selfs de protection, et prises de terre. Les parafoudres sont tous des appareils à fonctionnement discontinu.

PARAFOUDRES A PLAQUES. — Utilisés pour la basse tension, et principalement pour éviter qu'un contact accidentel dans un transformateur, entre le primaire et le secondaire, ne vienne mettre la basse tension sous une tension dangereuse. On n'en met généralement qu'un, entre un pôle (ou une phase) et la terre, ou bien entre le fil neutre et la terre (fig. 97).

Ils sont formés d'une série de 2 plaques portant l'une contre l'autre, avec interposition d'une mince plaque de mica, qui sera percée sous l'effet d'une tension anormale.

PARAFONDRES A CORNES. — Utilisés pour toutes tensions, et tous courants. On en place un entre chaque phase ou pôle et la terre. Ce sont deux cornes en fil de cuivre de grosse section, disposées l'une en face de l'autre, de sorte que l'arc, qui sous l'effet d'une surtension, jaillira entre les 2 armatures, s'élèvera sous l'influence de la chaleur, ira en s'allongeant

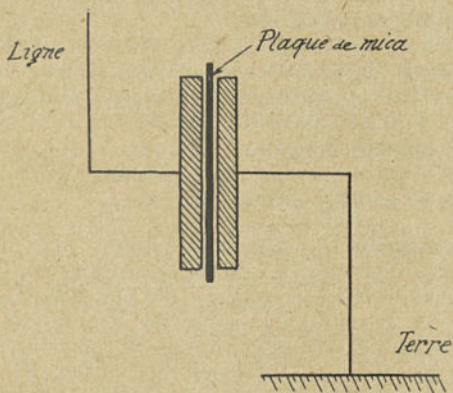


FIG. 97. — Parafoudre basse tension à plaque de mica.

pour finalement se couper de lui-même, de façon que l'appareil se retrouve à nouveau en état de fonctionner.

Entre l'appareil et la terre, on mettra une résistance, qui limitera le courant de décharge, en évitant un court-circuit franc de 2 phases par la terre (fig. 98 et 99).

La question délicate est le *réglage de l'intervalle* selon la tension normale : il faut que

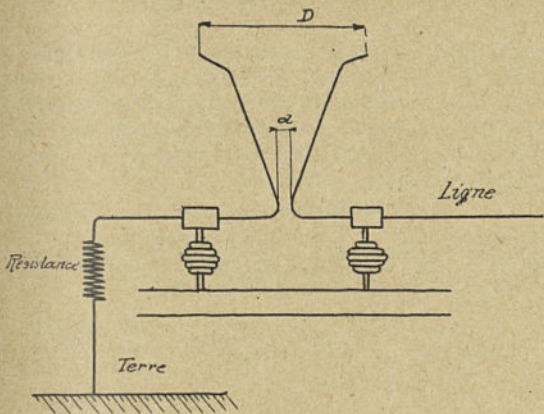


FIG. 98. — Parafoudre à cornes. Schéma.

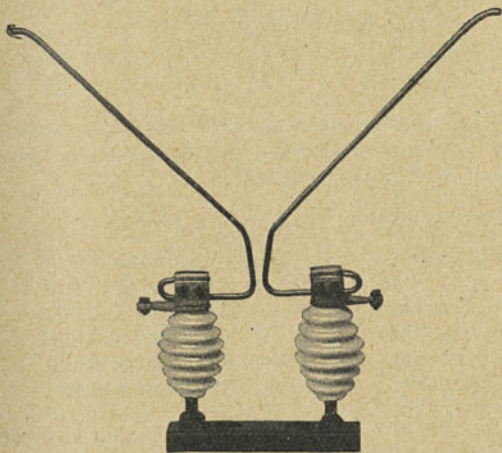


FIG. 99. — Parafoudre à cornes. Const¹^{on} Merlin et Gérin.

l'appareil soit assez sensible pour fonctionner avec une surtension de l'ordre de 50 p. 100; mais pas assez pour fonctionner intempestivement par suite d'une augmentation de l'humidité de l'air ou de l'interposition de poussières entre les cornes.

Voici, dans le tableau suivant, les distances à observer pour un réglage approximatif des parafoudres à cornes, le réglage définitif devant se faire expérimentalement :

Tension entre fils	Distance explosive du parafoudre	Distance minima des extrémités des cornes
— volts	— m/m	— m/m
1.000	2,5	120
5.000	3	370
10.000	4	600
15.000	8	700
20.000	12	760
40.000	35	1.380

Les résistances sont très variables suivant les constructeurs, mais sont de l'ordre de grandeur du tableau suivant :

Tension entre fils	Résistance
— volts	— ohms
1.000	de 20 à 500
5.000	de 500 à 2.000
10.000	de 1.200 à 4.000
15.000	de 1.700 à 6.000
20.000	de 2.000 à 8.000

Les parafoudres à cornes sont efficaces pour les tensions un peu élevées; pour les tensions au-dessous de 5.000 volts, ils ne sont pas très

sûrs, l'intervalle étant nécessairement plus fort qu'il ne serait nécessaire, à cause de la nécessité d'éviter des décharges intempestives.

Ils doivent être bien réglés et bien entretenus, et surtout montés convenablement; nous verrons plus loin, à propos des prises de terre, en quoi consiste un montage correct.

PARAFONDRES A ROULEAUX. — Utilisés pour toutes tensions et toute espèce de courant. On

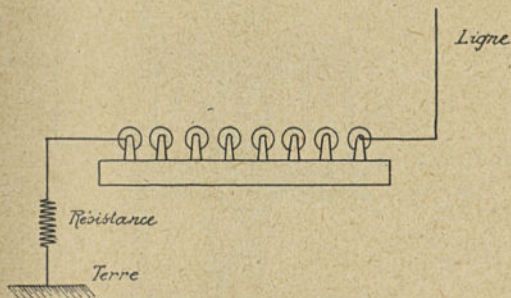


FIG. 100. — Parafoudre à rouleaux. Schéma.

les place comme les parafoudres à cornes entre la terre et chaque phase ou pôle, avec une résistance en série.

Ils se composent d'une série de rouleaux en zinc (ou alliage de zinc, ce métal ayant la propriété d'avoir des vapeurs non conductrices), très rapprochées, entre lesquels se produit la décharge : les extrêmes étant, l'un à la terre, l'autre sous tension (fig. 100).

On met souvent des résistances *shuntant* dans une partie des intervalles : ce dispositif a pour

effet de rendre l'appareil plus sensible aux décharges de basse fréquence, qui ne traversent ainsi qu'une partie des intervalles, puisqu'elles peuvent s'écouler par la résistance, tandis que les décharges à haute fréquence traversent tous les intervalles (fig. 101).

On doit mettre de préférence les rouleaux *horizontaux*, afin que les rouleaux allongent l'arc en faisant corne (fig. 102).

La disposition en zigzag n'est pas très bonne

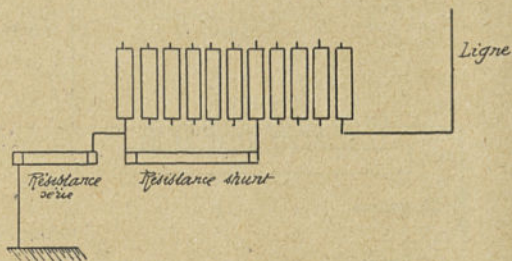


FIG. 101. — Parafoudre à rouleaux à espaces shuntés.

car elle augmente la réactance de l'appareil et limite ainsi le passage des décharges à haute fréquence.

On admet généralement 1 rouleau par 1.000 volts.

Ces appareils sont très sensibles : ils doivent pouvoir être réglés pour une surtension de 30 p. 100.

Ils sont les seuls parafoudres vraiment efficaces pour les basses tensions, et peuvent aussi s'appliquer aux hautes tensions en multipliant le nombre des rouleaux.

Les résistances sont du même ordre de grandeur que celles des parafoudres à cornes.

PARAFOUDRES ÉLECTROLYTIQUES. — Ils sont basés sur le principe suivant :

Si on plonge dans un électrolyte deux élec-

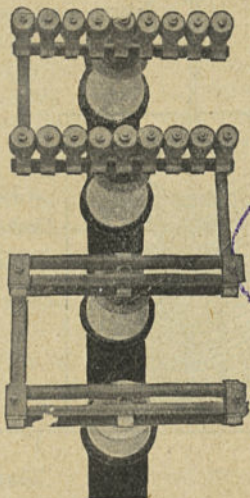


FIG. 102. — Parafoudre à rouleaux.
Construction Merlin et Gérin.

trodes d'aluminium, sous l'action d'une tension continue ou alternative, il se forme une couche d'oxyde, mauvais conducteur. Si on relie un point d'une ligne soumise à une tension continue, à une des électrodes, l'autre électrode étant à la terre, tant que la tension reste inférieure à une certaine tension, appelée *tension*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

critique, le courant ne passe pas. Si la tension augmente et dépasse la tension critique, le courant passe et la ligne se décharge par l'appareil. Lorsque la tension baisse à nouveau, le courant cesse.

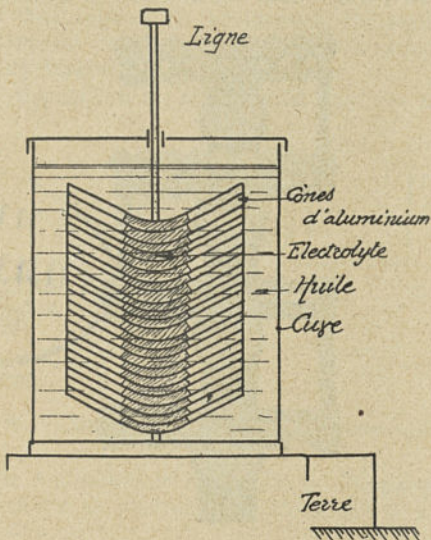


FIG. 103. — Parafoudre électrolytique.

Avec une tension alternative, les phénomènes sont les mêmes, mais il passe toujours un petit courant, très faible, même lorsqu'on est au-dessous de la tension critique.

Si l'appareil reste longtemps sans être sous tension, il perd peu à peu ses propriétés et la pellicule d'oxyde se dissout. Il faudra donc de

temps à autre reformer la couche en mettant l'appareil sous tension.

Les parafoudres électrolytiques sont composés pratiquement par des cônes d'aluminium empilés dans une cuve pleine d'huile, l'électrolyte étant versé dans l'intervalle de 2 cônes consécutifs. L'électrolyte est de la *soude*. La tension critique d'un élément est de l'ordre de 350 volts (fig. 103).

En courant alternatif, on intercale en série un *éclateur* pour éviter la perte continue de courant, mais il faut le court-circuiter quelques heures par jour pour entretenir la pellicule d'oxyde.

Il n'y a pas besoin de résistance en série.

Ces appareils sont très précis, ils peuvent être réglés pour une surtension de 25 p. 100 supérieure à la normale. Leur inconvénient est la nécessité de les entretenir tous les jours.

Ils sont plutôt indiqués dans une grande centrale, où il y a du personnel spécial, que pour l'installation d'usine, où l'entretien et la manipulation des appareils doivent être réduits au minimum.

RÉSISTANCES. — Les résistances employées dans les parafoudres à cornes et à rouleaux sont constituées de différentes manières :

Les résistances en *fil émaillé* plongé dans une cuve à *huile*, conviennent très bien dans la plupart des cas : elles peuvent supporter une décharge assez longue, à cause du refroidissement effectué par la masse de l'huile;

Les résistances *solides* en baguettes de carbondum ou en tubes de graphite sont très peu encombrantes, mais leur résistance varie beau-

coup avec la température; d'ailleurs une décharge trop longue les détériore. Elles ne conviennent donc que lorsque les décharges seront de courte durée;

Les résistances *liquides* sont très simples et bon marché : elles se composent d'un tube de grès rempli de soude où plongent deux élec-

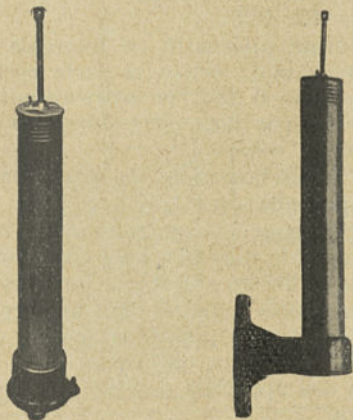


FIG. 104.

Résistances liquides. Construction Merlin et Gérin.

trodes : elles supportent assez bien les fortes décharges. Mais il faut combattre l'évaporation et éviter la gelée (fig. 104).

SELS DE PROTECTION. — Ce sont des réactances, généralement sans fer, composées de spires enroulées sous forme de bobines ou de spirales. On les place en série sur la ligne vers les points faibles, par exemple à l'entrée des

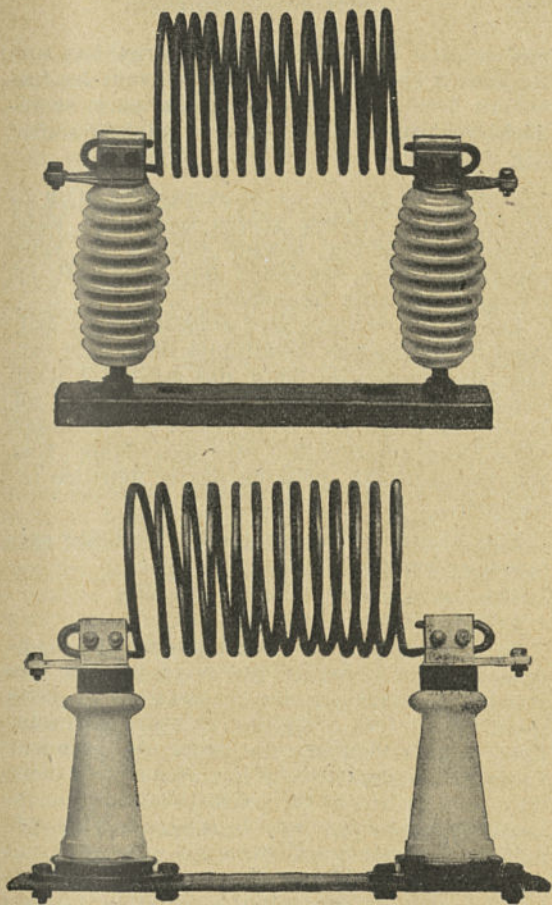


FIG. 105. — Boînes de self de protection.
Construction Merlin et Gérin.

postes, mais en aval des parafoudres. Les surtensions à haute fréquence ne pouvant les traverser, à cause de leur forte réactance, se réfléchissent sur le parafoudre où elles s'écoulent (fig. 105).

LIGNES DE TERRE. — Se composent d'un fil de cuivre nu d'assez grosse section et aussi droit que possible; chaque contour ou spire constituant une réactance qui arrêterait les courants de haute fréquence.

Les prises de terre sont constituées de grilages ou de plaques métalliques de grande surface, des masses de fonte, des conduites d'eau enterrées. Il faut un bon contact avec le sol. Pour cela, on enfouit de la braise de boulanger.

Le métal employé doit être inoxydable : zinc, tôle plombée, etc., pour ne pas se détruire rapidement.

Spécification d'un parafoudre. — Cette spécification comporte :

Tension normale de la ligne;

Fréquence;

Caractéristiques de fonctionnement, c'est-à-dire quantité d'énergie qui devra pouvoir être écoulee pendant un temps déterminé : cette quantité est très complexe, et seul un spécialiste pourra donner son ordre de grandeur après étude de l'installation. Nous conseillons d'ailleurs de ne pas faire d'installations importantes de protection sans le concours d'un spécialiste de cette question;

Nombre de fois que l'appareil devra fonctionner sans détérioration;

Limites de l'échauffement pour les caractéristiques de fonctionnement et résistance dié-

lectrique des isolants (conditions de la *Chambre syndicale*);

Nombre de pôles;

Mode de protection (cloisonnement entre pôles et grillages).

Paratonnerres. — Tout le monde connaît les paratonnerres employés pour la protection des habitations : ils se composent essentiellement d'une pointe placée au point le plus haut de l'édifice, d'une ligne de terre, et d'une prise de terre. Leur champ de protection est assez réduit, aussi ne pourrait-on protéger les lignes par de semblables appareils, car il faudrait un paratonnerre à chaque poteau.

On emploie le dispositif dit de la *ligne de garde*; c'est un fil ou un câble d'acier ou de fer tendu entre les poteaux et suivant la ligne sur toute sa longueur; il doit être mis à la terre aussi souvent que possible; si les supports sont des pylônes métalliques, il sera à la terre à chaque pylône; s'ils sont en bois, on devra faire une terre tous les 3 ou 4 poteaux.

La protection contre les coups de foudre directs est efficace, et l'utilité en est surtout pour les lignes de montagne, aux points particulièrement soumis aux orages.

Le fil de garde a aussi une action non négligeable pour l'écoulement des charges statiques.

Limiteurs de tension. — Ces appareils, destinés surtout à parer aux effets des surtensions d'origine interne, sont identiques aux parafoudres à cornes, à rouleaux, ou électrolytiques, mais sont montés entre phases ou entre pôles au lieu d'être montés entre la ligne et la terre. Ce sont

en somme des parafoudres montés en triangle (fig. 106).

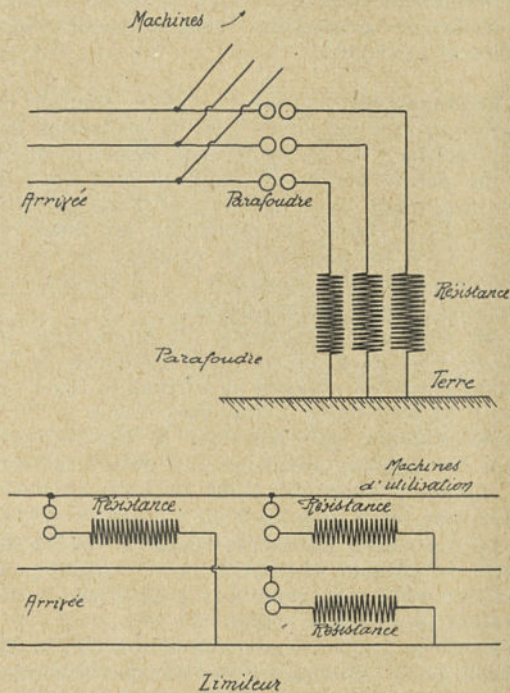


FIG. 106. — Comparaison du montage en parafoudre et du montage en limiteur.

La seule différence est qu'ils doivent être plus sensibles que les parafoudres, les surtensions d'origine interne étant le plus souvent

plus faibles. On devra donc n'employer le type à cornes que pour les hautes tensions, le type à rouleaux, au contraire, conviendra dans la majorité des cas.

On emploie quelquefois, en triphasé, des limiteurs parafoudres. Ce sont des parafoudres reliés non pas directement à la terre, mais à un point neutre, relié lui-même à la terre par

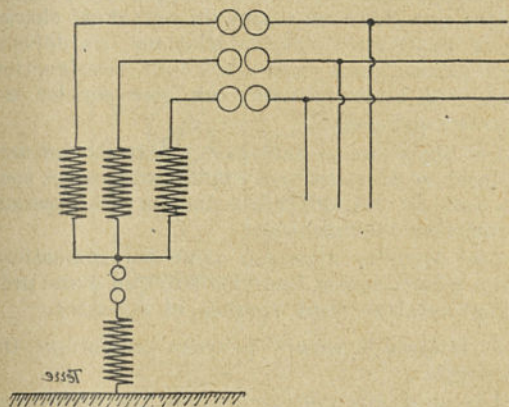


FIG. 107. — Dispositif mixte, limiteur-parafoudre.

un autre parafoudre ou une résistance (fig. 107).

La spécification est identique à celle d'un parafoudre.

5. Appareils de mesure

Nous ne nous arrêterons pas longtemps sur cette catégorie d'appareils, un volume spécial de la même collection leur étant consacré.

Classification. — Les appareils de mesure peuvent être classés :

a) D'après leur *usage*. C'est ainsi que l'on distingue :

Les appareils de *laboratoire*, appareils de haute précision, destinés à être manipulés par des spécialistes;

Les appareils de *contrôle*, appareils destinés à être mis entre les mains du personnel chargé de la vérification des installations; ils doivent être précis, mais cependant leur construction doit être assez robuste, car leur service est souvent assez dur;

Les appareils de *tableaux*, appareils destinés à indiquer au personnel exploitant quelles sont les valeurs des différents facteurs intéressant la marche des machines.

Ces derniers appareils dont les indications n'ont généralement besoin d'être que d'une précision relative, sont simples et robustes.

b) D'après la *nature de leurs indications*. On distingue :

Les appareils *indicateurs*, où une aiguille se déplaçant sur un cadran, indique à chaque instant la valeur de la quantité à mesurer, mais ne laisse pas de trace des indications antérieures;

Les appareils *enregistreurs*, où l'aiguille porte une plume qui trace continuellement une courbe sur un papier se déplaçant d'un mouvement régulier; ils permettent de se rendre compte des variations d'une quantité en fonction du temps pendant une période déterminée;

Les *appareils totalisateurs* ou intégrateurs.

destinés à indiquer la somme de certaines quantités en fonction du temps, pendant un temps déterminé; tels sont les compteurs d'énergie qui totalisent les kilowatts-heures passés dans un appareil.

c) D'après le *principe* sur lequel ils sont basés. On distingue :

Les appareils à *cadre mobile*, destinés uni-

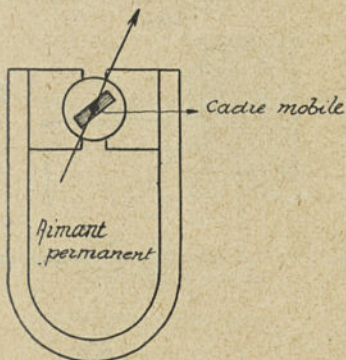


FIG. 108. — Appareil à cadre mobile.
Schéma de principe.

quement aux mesures en courant continu, et basés sur le principe de l'action d'un aimant sur un enroulement mobile, action plus ou moins forte, suivant la valeur du courant qui passe dans l'enroulement (fig. 108);

Les appareils *électromagnétiques*, basés sur l'action d'un enroulement fixe, sur une pièce en fer doux mobile (fig. 109);

Les appareils *électrodynamiques*, basés sur

l'action d'un enroulement fixe, sur un enroulement mobile (fig. 110);

Les appareils *thermiques*, basés sur l'action de la dilatation d'un fil mince sous l'effet de

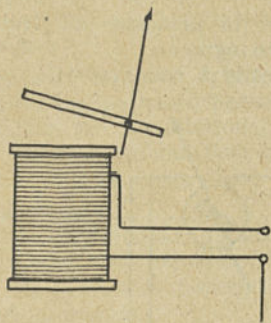


FIG. 109. — Appareil électromagnétique.
Schéma de principe.

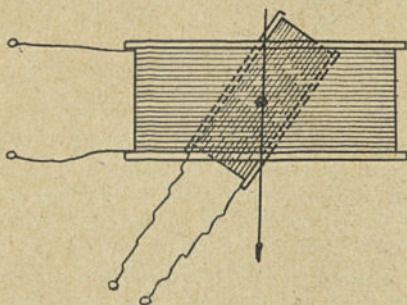


FIG. 110. — Appareil électrodynamique.
Schéma de principe.

l'élévation de température causé par le passage d'un courant (fig. 111);

Les appareils à *induction* ou à champ tournant, basés sur l'action d'un ou plusieurs enroulements produisant un champ tournant (comme le champ du stator d'un moteur asynchrone) sur une spire fermée sur elle-même.

d) D'après la nature de la *quantité* mesurée. Nous distinguerons dans ce sens :

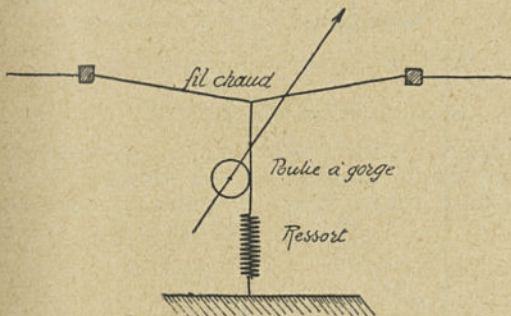


FIG. 111. — Appareil thermique. Schéma de principe.

Les *ampèremètres*, destinés à la mesure des intensités de courant;

Les *voltmètres*, destinés à la mesure des tensions;

Les *wattmètres*, destinés à la mesure des puissances;

Les *ohmmètres* et contrôleurs d'isolement, destinés à la mesure des résistances des enroulements et des résistances d'isolement;

Les *phasemètres*, destinés à la mesure des facteurs de puissance;

Les *fréquencemètres*, destinés à la mesure des fréquences; -

Les *compteurs*, destinés à la mesure, par totalisation, des ampères-heures et des kilowatts-heures;

Les *synchronoscopes*, destinés à indiquer la différence de phase de deux machines à courant alternatif, afin de permettre de les coupler lorsque cette différence est nulle.

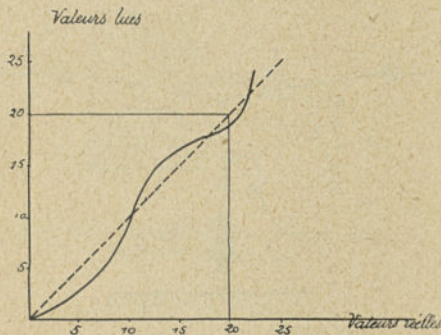


FIG. 112. — Courbe d'étalonnage d'un appareil de mesure.

Qualités des appareils de mesure. — Il convient de dire quelques mots au sujet de termes souvent employés mal à propos : l'exactitude, la précision et la sensibilité.

Un appareil est *exact* lorsque ses indications correspondent bien aux valeurs réelles des quantités mesurées. Dire d'un appareil qu'il est inexact, ne veut pas forcément dire qu'il est mauvais, mais qu'il a été mal réglé. On peut toujours remédier à l'inexactitude d'un appa-

reil en le comparant avec un appareil exact, et en refaisant la graduation : c'est-à-dire en l'étalonnant (fig. 112).

Mais l'exactitude d'un appareil peut dépendre d'une foule de facteurs accessoires : la température, la fréquence, etc. Il faut donc indiquer les *conditions* dans lesquelles il est exact, et au besoin les *facteurs de correction* dont il faut tenir compte, lorsque ces conditions varient.

L'exactitude est mesurée par la valeur de l'*erreur relative* : c'est le rapport :

Lecture de l'appareil — Lecture de l'étalon

Lecture de l'étalon

Si nous lisons 3,50 ampères sur un appareil et 3,55 ampères sur un appareil étalon parcouru par le même courant, l'erreur relative pour la graduation 3,50 est :

$$\frac{0,05}{3,55} = 1,4 \text{ p. } 100$$

L'exactitude de l'appareil sera caractérisée par la plus forte valeur de l'erreur relative pour les différents points de la graduation. Par exemple, un appareil sera exact à moins de 2 p. 100 près, si la plus forte erreur relative ne dépasse pas plus ou moins 2 p. 100.

La *précision* est caractérisée par la plus petite fraction de la quantité mesurée qui peut être distinguée sur la graduation de l'appareil.

Par exemple, si je puis distinguer par simple lecture que mon appareil indique 9,7 ampères, et non 9,6, ni 9,8, je dirai que mon appareil est précis à 1/10 d'ampère.

La *sensibilité* est la plus petite variation de la quantité à mesurer, qui est capable de faire changer l'aiguille de position. Il serait inutile d'avoir un appareil précis, s'il n'est pas sensible. Ainsi, dans le cas précédent, il serait inutile de pouvoir lire des variations de $1/10$ d'ampère, si une variation de l'intensité de $1/10$ d'ampère ne faisait pas bouger l'aiguille.

De même, il serait illusoire d'avoir un appareil précis et sensible, s'il n'était pas exact, ou du moins si on ne connaissait pas la valeur de la correction à apporter pour chaque point de graduation.

Un appareil est dit *amorti*, lorsqu'il existe un organe destiné à freiner les mouvements de l'organe mobile, de façon à éviter que cet organe ne soit lancé au delà de sa position, lorsque la variation est brusque.

Dans un appareil peu amorti, l'aiguille fait toujours quelques oscillations avant d'atteindre sa position d'équilibre.

Dans un appareil trop amorti, l'aiguille ne fait pas d'oscillations, mais met un temps appréciable à atteindre sa position.

Dans les deux cas, on ne connaît jamais la valeur de la quantité à mesurer à l'instant précis où on fait la lecture. Dans un appareil destiné à mesurer des quantités qui varient brusquement, l'aiguille doit suivre instantanément les variations sans les dépasser, ni être en retard : c'est le cas d'un appareil sans inertie, doté de l'*amortissement critique*.

L'amortissement peut être *naturel*, comme dans les appareils thermiques où il provient de la constitution même de l'appareil, ou *artificiel*, comme dans la plupart des autres appa-

reils où on doit disposer un organe spécial pour réaliser l'amortissement.

Etude sommaire de quelques appareils. — AMPÈREMÈTRES. — *A cadre mobile*, spécial au courant continu; ce type fait d'excellents appareils de contrôle.

Electromagnétiques, pour courants continus et alternatifs, mais la graduation est légèrement différente; ce type constitue l'appareil de tableau type, à cause de sa robustesse. Sensible aux variations de fréquence. Ne sont pas proportionnels, c'est-à-dire que les graduations ne sont pas égales sur tous les points de l'échelle;

Electrodynamiques, pour courants alternatifs (ou continus, mais sans shunt); appareils de haute précision pour contrôle. Sensibles aux champs magnétiques extérieurs, ce qui exige quelques précautions pour le montage.

Thermiques, pour courants continus et alternatifs. Absolument indépendants de la forme du courant, qui peut être continu, sinusoïdal ou non. Sensibles à la température. Possèdent un amortissement naturel qui les rend paresseux. Font des appareils de tableaux ou de contrôle, lorsqu'on n'a pas de brusques variations à mesurer.

A induction, pour courants alternatifs. Sensibles aux variations de fréquence. Couple puissant qui les désigne pour les appareils enregistreurs de moyenne précision.

Les ampèremètres se montent, soit directement sur le courant total à mesurer, soit sur *shunt* (sauf pour les électrodynamiques), soit en courant alternatif, sur *transformateurs d'intensité*.

Le montage sur shunt les rend sensibles aux variations de température.

VOLTMÈTRES. — Les voltmètres sont des ampèremètres à forte résistance intérieure et branchés entre les deux points entre lesquels on veut mesurer la tension. Ils ne diffèrent donc pas, en principe, des ampèremètres, sinon que leurs circuits sont en fil beaucoup plus fin.

L'adjonction d'une résistance les rend sensibles aux variations de température.

Ils se montent avec *résistance en série* pour les tensions jusqu'à 750 volts, et sur *transformateurs de tension* pour les tensions plus élevées.

WATTMÈTRES. — *Electrodynamiques*, pour courants continus ou alternatifs. Ce sont des appareils très précis, insensibles aux variations de fréquence, dans les limites des fréquences usuelles. Excellents appareils de contrôle. Sensibles aux champs magnétiques extérieurs. Peuvent être montés en enregistreurs de précision.

Thermiques. Assez rarement employés. Leur principal inconvénient est leur paresse. Peuvent faire des appareils de tableaux pour tous courants.

A induction. Très robustes, et couple puissant. Fréquemment employés comme appareils enregistreurs de moyenne précision. Sensibles aux variations de fréquence.

En courant triphasé, les wattmètres peuvent être montés :

a) En *triphase équilibré*, c'est-à-dire gros

fil sur une phase, fil fin entre cette phase et le neutre (artificiel ou non). On mesure donc la puissance sur une phase, et on suppose que c'est le tiers de la puissance totale, c'est-à-dire que les phases sont équilibrées (fig. 113).

b) En *triphasé non équilibré*, c'est-à-dire que l'appareil est double, chaque équipage comprenant un gros fil sur chacune des deux phases,

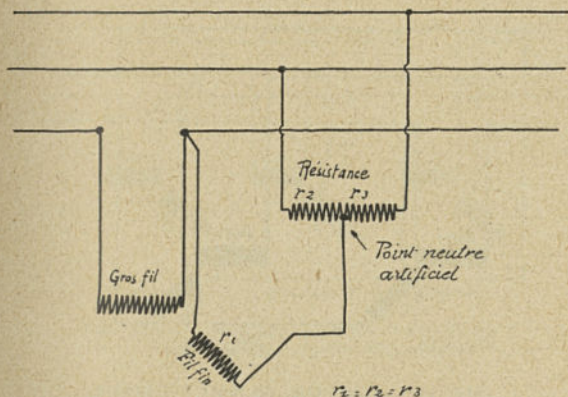


FIG. 113. — Montage d'un wattmètre en triphasé équilibré.

et un fil fin entre chacune de ces phases et la troisième. On démontre que la puissance est égale à la somme des puissances mesurées par chaque équipage, et mesurée par la somme des actions (différence si le $\cos \varphi$ est inférieur à 0,5 (fig. 114).

c) En *triphasé à 4 fils* pour lignes avec point neutre. Il y a 3 équipages qui mesurent chacun

la puissance sur une phase, les fils fins étant reliés au neutre (fig. 115).

Les gros fils (fils d'intensité) se montent, en continu directement sur le courant total, en alternatif soit sur le courant total, soit sur transformateurs d'intensité (sur shunts dans des appareils spéciaux).

Les fils fins (fils de tension) se montent comme des fils de voltmètres.

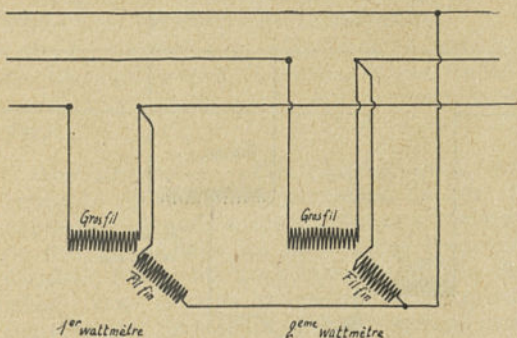


FIG. 114. — Montage de deux wattmètres en triphasé non équilibré.

OHMMÈTRES ET CONTRÔLEURS D'ISOLEMENT. — Ces appareils comprennent :

Ceux basés sur la *loi d'Ohm* : on envoie un courant continu de tension connue dans la résistance à mesurer et on mesure l'intensité qui y passe, dans un ampèremètre à cadre mobile. Ils ne sont exacts que si la tension est bien constante, le courant est produit par une petite magnéto à main;

Ceux basés sur le *pont de Wheatstone* (voir Manuel des appareils de mesure) qui permettent des mesures beaucoup plus précises, mais moins rapides;

Ceux basés sur le principe du *logomètre*, qui sont indépendants de la tension.

Ce sont généralement des appareils portatifs de contrôle. Ils peuvent être destinés à mesurer :

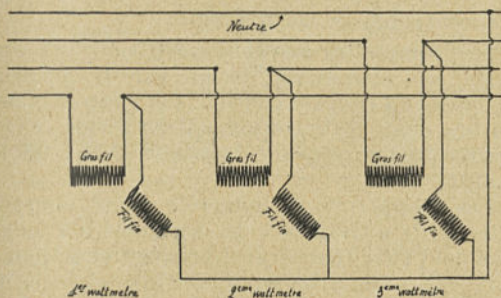


FIG. 115. — Montage de trois wattmètres en triphasé quatre fils.

Soit des *fortes résistances*, depuis 1.000 ohms jusqu'à 100 mégohms, par exemple les résistances d'isolement;

Soit des *résistances moyennes*, depuis 0,01 jusqu'à 1.000 ohms, résistance d'enroulement, par exemple;

Soit des *faibles résistances*, depuis le microhm jusqu'au 0,01 ohm, résistivités d'échantillons, par exemple.

PHASEMÈTRES. — Ce sont généralement des appareils à champ tournant; ils se montent comme des wattmètres.

FRÉQUENCÉMÈTRES. — Nous distinguerons :

Les appareils *électromagnétiques* à lames vibrantes, qui sont peu précis;

Les appareils du genre *Abraham*, plus précis, permettant des lectures continues, mais sensibles aux variations de tension.

Ces appareils se montent comme des voltmètres.

COMPTEURS. — On distingue :

Les compteurs *moteurs* pour courants continus ou alternatifs, basés sur le principe du moteur à courant continu. Leur inconvénient est une assez forte consommation à vide et leur inertie qui les empêche de démarrer aux faibles charges;

Les *compteurs à induction* pour courants alternatifs, analogues à des wattmètres à induction dont l'axe tournerait librement et actionnerait une minuterie au lieu d'une aiguille. Ce sont les plus employés actuellement. Ils sont sensibles à la tension, à la fréquence, et au déphasage;

Enfin les compteurs *pendulaires*, type Aron, qui sont très précis.

Les compteurs peuvent encore être :

Wattmétriques, s'ils mesurent des kilowatts-heures,

Ampèremétriques, s'ils mesurent des ampères-heures.

Les compteurs se montent comme des wattmètres ou des ampèremètres (fig. 116 et 117).

SYNCHRONOSCOPES. — Appareils à champ tournant; ce sont plutôt des appareils indicateurs que des appareils de mesure.

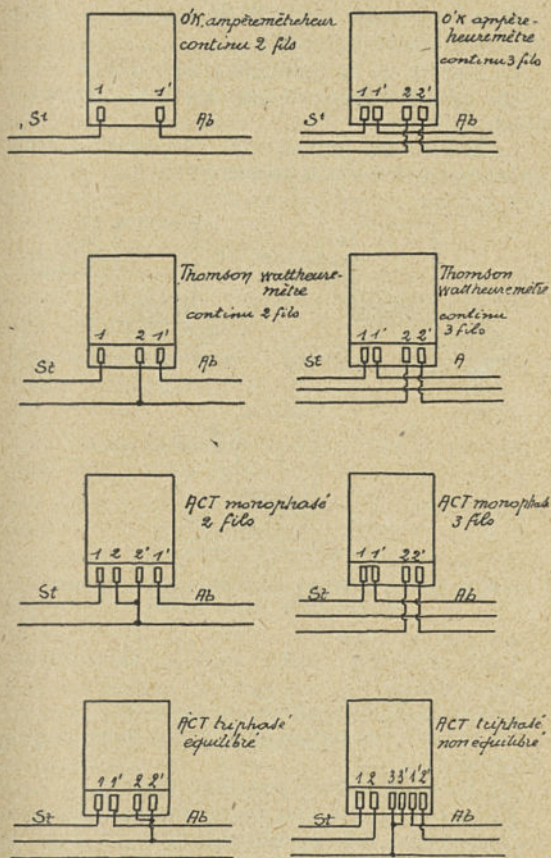


FIG. 116. — Montage des bornes de compteurs de différents types.

Spécification des appareils de mesure. — Cette spécification comprendra :

La nature de la quantité à mesurer;

L'usage de l'appareil : de contrôle ou de tableau;

La nature des indications : indicateur simple ou enregistreur, ou totalisateur;

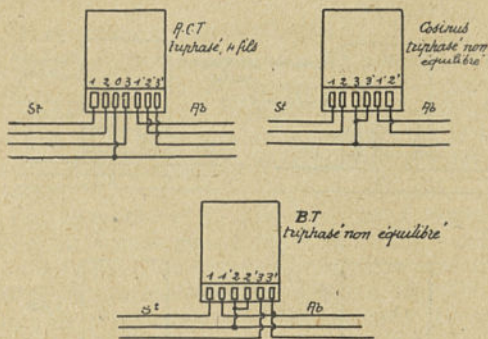


FIG. 117. — Montage des bornes de compteurs de différents types (suite).

Leur principe : cadre mobile, électrodynamique, etc.;

Les limites de l'échelle de mesure;

La nature des unités employées dans la graduation;

La force de l'amortissement désiré;

L'exactitude que l'on recherche dans les mesures (ce qui fixera automatiquement pour le constructeur les limites de la précision et de la sensibilité). Généralement les appareils de contrôle doivent permettre de faire des me-

sures à moins de 1 p. 100 près, tandis que pour les appareils de tableau, il est suffisant de travailler à 5 p. 100 près;

Les facteurs accessoires intéressants, par exemple la fréquence pour les appareils sensibles à la fréquence;

Les conditions normales de fonctionnement : par exemple pour un wattmètre, le voltage et l'intensité normales;

Le mode de montage.

Pour l'échauffement, les conditions sont les mêmes que pour l'appareillage en général (page 170), sauf pour :

Coton non imprégné..	40°	au lieu de	55°
Coton imprégné.....	55°	—	65°
Fil émaillé.....	55°	—	85°

Pour la rigidité diélectrique, l'essai se fait à deux fois la tension de service + 1.000 volts.

En plus, pour les *compteurs*, il faudra indiquer :

La valeur de la charge sous laquelle se fait le démarrage (généralement 1/100 de la charge normale);

L'exactitude, à 1/20 du débit maximum (5 p. 100).

Les variations de l'erreur en fonction des conditions accessoires sont généralement fixées comme suit pour les compteurs :

L'exactitude ne doit pas comporter une erreur de plus ou moins 5 p. 100, pour toutes les valeurs de $\cos \varphi$ supérieures à 0,20, pour une variation de tension de plus ou moins 10 p. 100, pour une variation de fréquence de plus ou moins 6 p. 100, pour des températures de 0 à 30°.

Appareils accessoires. — Ce sont :

Les *shunts*, caractérisés :

Par leur intensité normale ; c'est le courant, pour lequel l'appareil doit donner toute sa graduation ;

Par la tension entre les 2 bornes (en millivolts). Généralement 100 millivolts, parfois jusqu'à 500 millivolts, pour les appareils de contrôle qui exigent une grande précision, mais n'ont pas besoin de rester en service constamment.

TRANSFORMATEURS D'INTENSITÉ, caractérisés par :

Le rapport des intensités primaire et secondaire ;

La tension de service (pour l'isolement).

On distingue :

Les *appareils courants*, destinés aux ampèremètres de tableaux, aux déclenchements de disjoncteurs, où il suffit que le rapport de transformation soit exact ;

Les *appareils de précision*, destinés aux wattmètres et compteurs, où il est essentiel que le transformateur n'introduise pas de modification dans le déphasage entre la tension et l'intensité.

Il faudra donc indiquer l'usage de l'appareil.

En outre, il faut fixer la puissance qui sera demandée au secondaire : cette puissance se mesure en volts-ampères. Il reviendra au même d'indiquer la résistance totale des circuits qui seront branchés aux bornes, et la nature des appareils. L'échauffement et la résistance diélectrique seront fixés comme pour tous les appareils de mesure, sauf un minimum de

la tension d'épreuve du secondaire, fixé à 1.500 volts.

TRANSFORMATEURS DE TENSION. — Indiquer :

Le rapport des tensions primaire et secondaire;

La fréquence;

L'usage de l'appareil;

La puissance en volts-ampères : ou encore la résistance totale des appareils qui devront être branchés, en indiquant la nature de ces appareils.

Echauffement et résistance diélectrique comme pour les appareils de mesure.

6. Accumulateurs

Les caractéristiques relatives à une batterie d'accumulateurs sont :

Système et mode de formation;

Capacité de décharge, régime de charge et de décharge;

Voltage aux bornes;

Nombre d'éléments;

Rendement;

Détails de construction.

Système et mode de formation. — Les accumulateurs industriels actuels appartiennent à deux catégories :

Les accumulateurs au plomb, où les plaques sont à base de plomb, et le liquide est de l'acide sulfurique;

Les accumulateurs au fer-nickel ou accumulateurs Edison, où les plaques sont à base de fer et de nickel; le liquide est de la potasse.

Les *accumulateurs au plomb* peuvent eux-mêmes être répartis en deux classes, suivant le mode de formation des plaques :

Accumulateurs à *formation naturelle* ou formation Planté, dans lesquels la couche de matière active est formée par une suite de charges et de décharges lentes;

Accumulateurs à *oxydes rapportés*, dans lesquels la couche de matière active est préparée chimiquement et fixée mécaniquement ou électrolytiquement sur des supports en plomb antimonié.

Les accumulateurs à formation Planté sont beaucoup plus robustes que les accumulateurs à oxydes rapportés, la matière active adhère beaucoup mieux aux plaques. Malheureusement leur formation est une opération extrêmement longue, qui en augmente le prix dans des proportions considérables.

Dans les accumulateurs à oxydes rapportés, il faut employer des artifices mécaniques pour fixer la matière active sur les plaques, et au bout d'un certain temps, on peut toujours craindre des chutes de matières actives. Par contre, leur fabrication est moins coûteuse.

Les accumulateurs au *fer-nickel* ont sur l'accumulateur au plomb des avantages considérables : robustesse incomparablement plus grande, possibilité de faire des charges et des décharges très rapides sans risques de diminution de la capacité, possibilité de laisser les éléments longtemps au repos sans craindre la sulfatation des plaques.

Par contre, le voltage des éléments est moins élevé que dans l'accumulateur au plomb, le rendement notablement plus bas, la charge se

perd très vite, et, à tension et capacité égales, il n'est guère plus léger.

On devra les réserver à des cas où la robustesse est la qualité indispensable, et où le service exige des charges et décharges rapides et sans interruption; c'est le cas de la traction et particulièrement des petits chariots qui sont actuellement si employés dans les usines.

Pour les accumulateurs de réseaux, batteries tampons, etc., où la question du rendement est importante, où l'accumulateur peut avoir à rester chargé plusieurs jours, c'est l'accumulateur au plomb qui s'impose.

Capacité de décharge. Régime de charge et de décharge. — La *capacité de décharge* d'un élément (ou capacité tout court) est le produit du nombre d'ampères qui peut être fourni par le nombre d'heures pendant lequel dure la décharge: elle s'exprime en *ampères-heures*.

La capacité est variable suivant la durée de la décharge. Plus la décharge est longue, plus la capacité est forte.

Ainsi un même élément déchargé en 3 heures pourra fournir pendant ces 3 heures une intensité de 300 ampères, soit une capacité de :

$$3 \times 300 = 900 \text{ ampères-heures;}$$

en 5 heures, il fournira 200 ampères, soit une capacité de :

$$5 \times 200 = 1.000 \text{ ampères-heures;}$$

en 10 heures, il pourra fournir 120 ampères, soit une capacité de :

$$10 \times 120 = 1.200 \text{ ampères-heures.}$$

L'utilisation d'une batterie est donc meilleure avec une décharge lente qu'avec une décharge rapide. De même, la batterie se détériorera moins vite avec une décharge lente.

Le *régime de décharge* est le nombre d'ampères fournis à la décharge. Dans le cas précédent, les régimes de décharge seront : 300, 200 et 120 ampères-heures.

La *capacité normale* indiquée par les constructeurs correspond généralement à une décharge en 5 heures. Dans le cas précédent, la capacité normale sera de 1.000 ampères-heures.

Le *régime de charge* sera l'intensité sous laquelle on devra charger la batterie. Pour la même durée de charge et de décharge, le régime de charge sera forcément plus grand que le régime de décharge, à cause des pertes inévitables.

Généralement, le régime de charge est égal au régime de décharge normal (décharge en 6 heures environ).

On devra donc indiquer au constructeur :

La capacité;

Le régime de charge;

Le régime de décharge:

Voltage aux bornes. — La tension nécessaire pour *charger* un élément à intensité constante pour un accumulateur au plomb varie de 2 volts à 2,5 volts, du commencement à la fin de la charge. La tension à fin de charge est d'autant plus forte que la charge a été plus rapide, c'est-à-dire faite avec un courant plus intense : elle peut atteindre 2,8 volts pour une charge en 1 heure.

Si on laisse l'élément au repos, la tension

baisse rapidement jusqu'à 2,2 à 2,1 volts, suivant la densité de l'électrolyte, puis se maintient à cette valeur.

A la *décharge*, la tension baisse rapidement jusqu'à 2 ou 1,95 volts, puis s'y maintient pendant la plus grande durée de la décharge; vers la fin, elle tombe rapidement à 1,8; on admet alors que l'élément est déchargé. Si on prolongeait la décharge, on risquerait de détériorer l'élément.

Pour les accumulateurs au fer-nickel, la tension est plus basse : à la charge, elle ne dépasse pas 1,8 volts. A la décharge, elle tombe rapidement à 1,25 volts, puis se termine vers 1,1 volts.

On voit donc que, pour charger ou décharger une batterie sous un voltage constant, ce qui est désirable le plus souvent, on devra avoir un *nombre d'éléments variable* suivant le moment.

Détermination du nombre d'éléments d'une batterie. — Soit une batterie dont la charge et la décharge devront se faire sous un même voltage constant, par exemple 220 volts.

A la charge, la tension devra monter jusqu'à 2,5 volts : il faudra donc à ce moment :

$$\frac{220}{2,5} = 88 \text{ éléments.}$$

A la décharge, il faudra marcher avec une tension qui devra descendre jusqu'à 1,8 volts par élément, soit :

$$\frac{220}{1,8} = 122 \text{ éléments.}$$

Il faudra donc 122 éléments, dont :

$$122 - 88 = 34,$$

dits *éléments de réduction*.

Les éléments de réduction seront reliés à un insérateur dit *réducteur* (fig. 118).

Un calcul analogue se ferait si on peut

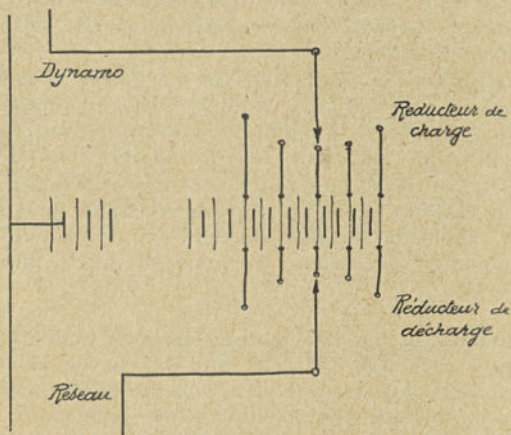


FIG. 118. — Réducteur de batterie d'accumulateurs.

charger sous une tension différente de la tension de décharge.

Le réducteur pourra être manœuvré par un régulateur d'intensité : on fera ainsi la charge et la décharge à intensité constante dans la batterie, ce qui est une bonne condition de marche.

Le réducteur pourra être double et comprendre un insérateur pour la charge et un

autre pour la décharge; cela permettra de charger à intensité constante, tout en maintenant la tension constante à la décharge.

L'emploi de réducteurs a le grave inconvénient de faire travailler les éléments de réduction dans de très mauvaises conditions. On préfère aujourd'hui avoir recours à un *survolteur-dévolteur*, qui peut travailler à nombre d'éléments constants. C'est lui qui compense la différence de tension en plus ou en moins avec le réseau.

Rendement. — On distingue :

Le *rendement en quantité* égal au rapport :

$$\frac{\text{Ampères-heures fournis à la décharge}}{\text{Ampères-heures absorbés à la charge}}$$

Pour des éléments de bonne construction, de grande capacité, et en très bon état, le rendement en quantité peut atteindre 90 p. 100.

Le *rendement en énergie* égal au rapport :

$$\frac{\text{Kilowatts-heures fournis à la décharge}}{\text{Kilowatts-heures absorbés à la charge}}$$

Dans les mêmes conditions que précédemment, ce rendement peut atteindre 75 p. 100.

Dans les conditions de la pratique, les rendements sont toujours beaucoup plus faibles.

Détails de construction. — La construction des *bacs* diffère suivant la destination de la batterie.

Pour les batteries fixes jusqu'à 800 ou 1.000 ampères-heures, les bacs sont en verre moulé;

Pour les batteries fixes, de grande capacité, en bois doublé de plomb;

Pour les batteries transportables, les bacs sont fermés et en ébonite ou celluloid. Une ouverture munie de chicanes pour empêcher l'écoulement du liquide permet le dégagement des gaz.

Les accessoires comprennent, pour les batteries fixes :

Des *chantiers*, en bois paraffiné ou goudronné, sur lesquels reposent les éléments;

Des *isolateurs*, en porcelaine ou en verre, sur lesquels reposent les chantiers.

Électrolyte. — L'électrolyte, employé pour les accumulateurs au plomb, est une solution aqueuse d'acide sulfurique.

L'acide employé doit être de l'acide dit au soufre, titrant 66° Baumé (vérification à l'aréomètre Baumé). Cet acide doit être étendu d'eau distillée, de façon à constituer une solution titrant de 22 à 24° Baumé, selon les modèles.

La pureté des électrolytes a une grande influence sur la conservation des éléments.

7. Appareillage d'éclairage

Nous étudierons successivement :

Les lampes à arc,

Les lampes à incandescence,

Les lampes à vapeur de mercure.

Nous laisserons de côté les éclairages d'un caractère un peu spécial, tels que les tubes Moore, les lampes Nernst, etc.

Nous dirons ensuite quelques mots des appareils suivants :

Réflecteurs, globes, diffuseurs.

Lampes à arc. — L'éclairage à arc est de moins en moins employé industriellement, à cause des perfectionnements des lampes à incandescence, qui les remplacent avantageusement dans la plupart des cas avec des sujétions d'entretien presque nulles.

Nous en dirons cependant quelques mots.

CARACTÉRISTIQUES D'UNE LAMPE A ARC. — Les caractéristiques intéressantes à fixer dans une lampe à arc sont :

L'*intensité lumineuse*, qui se mesure en bougies décimales;

La *consommation spécifique* ou consommation par bougie;

La *durée des charbons*.

Les facteurs qui influencent ces constances sont :

La *nature du courant* : l'arc continu est beaucoup plus avantageux que l'arc alternatif : son rendement est environ 50 p. 100 plus fort;

La *nature des électrodes* : les électrodes peuvent être en charbon, plus ou moins dur, ou composés d'une mèche tendre enrobée dans une baguette dure, ou composés d'un aggloméré de charbon et d'oxydes métalliques. Le charbon pur donne la bougie pour 0,5 watt, tandis que les charbons à oxydes (du type du carbominéral) ne consomment guère plus de 0,1 watt-bougie;

Le *milieu* dans lequel l'arc se produit : les

lampes en vase clos ont l'avantage d'une consommation de charbons beaucoup plus faible, avec une intensité lumineuse plus forte : la durée des charbons passe de 15 heures pour la lampe à air libre à plus de 150 heures pour la lampe à vase clos;

La puissance lumineuse de chaque foyer : en lampes à arc, ce sont les foyers puissants qui sont avantageux, à partir de 500 bougies. D'ailleurs la nécessité de changer fréquemment les charbons serait une sujétion trop lourde pour un grand nombre de foyers de petite puissance unitaire;

Le voltage d'alimentation : jusqu'à 50 volts, l'intensité lumineuse croît avec le voltage, puis décroît. Donc il n'est pas avantageux d'alimenter les arcs à une tension de plus de 50 volts. C'est pourquoi on les alimente par 2 en série sur 110 volts, ou bien on met en série des résistances en continu ou des réactances en alternatif;

La disposition des électrodes : dans les lampes ordinaires, où les charbons sont bout à bout, l'éclairage est plus fort sur les côtés, tandis que c'est en dessous que le faisceau lumineux devrait être le plus puissant. On emploie quelquefois la disposition à charbons convergents, qui donne un bien meilleur rendement lumineux.

RÉGULATEURS. — Le régulateur, qui a pour but de maintenir l'arc dans de bonnes conditions malgré l'usure des électrodes, peut fonctionner :

A intensité constante;

A tension constante;

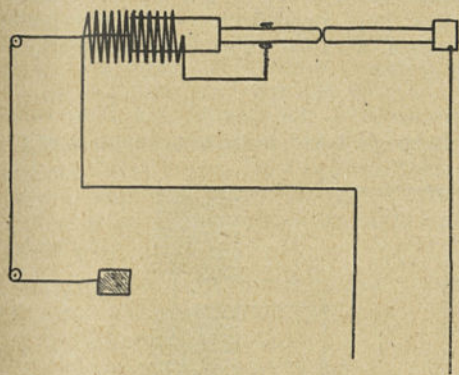
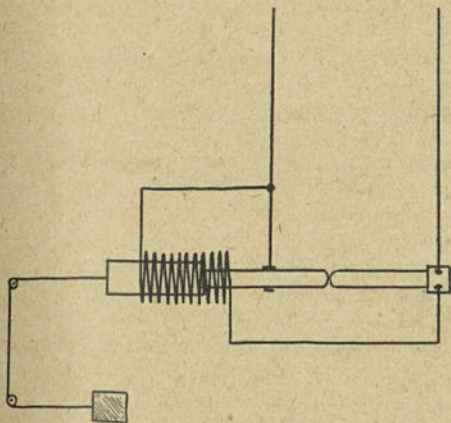
*A intensité constante**A tension constante*

Fig. 119. — Différents systèmes de régulateurs des lampes à arc.

A réglage différentiel, ce qui est une combinaison des deux précédents; c'est le type le plus employé, à cause de sa grande sensibilité (fig. 119 et 120).

SPÉCIFICATION. — La spécification d'une commande de lampe à arc devra donc comporter :

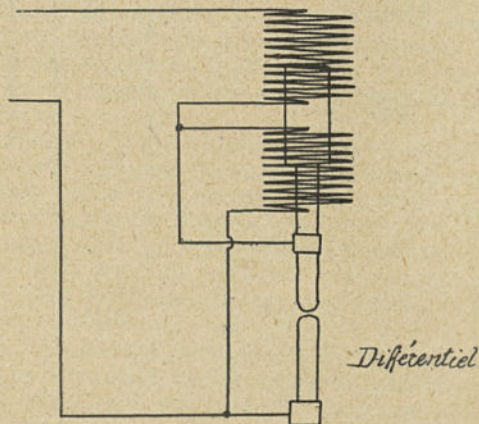


FIG. 120. — Différents systèmes de régulateurs des lampes à arc (suite).

- L'intensité lumineuse désirée;
- La nature du courant;
- Le voltage disponible;
- Le système de régulateur;
- La nature des charbons qu'on se propose d'employer;
- La consommation spécifique d'énergie qu'on ne veut pas dépasser;

La consommation de charbons qu'on ne veut pas dépasser;

Le groupement admissible pour les lampes, selon le nombre de foyers à installer (généralement par 2 en série sur 115 volts).

Lampes à incandescence.— Les lampes à incandescence sont aujourd'hui universellement employées pour les petites intensités lumineuses, comme pour des intensités de 1.000 bougies et même plus.

CARACTÉRISTIQUES D'UNE LAMPE A INCANDESCENCE. — Ces caractéristiques sont :

L'intensité lumineuse;

La consommation spécifique;

La durée de la lampe.

Ces données sont influencées par les facteurs suivants :

La *nature du filament* et de l'*atmosphère* intérieure de la lampe.

Les lampes à filament de *carbone* dans le vide, sont de moins en moins employées aujourd'hui, à cause de leur consommation spécifique élevée qui varie de 3,2 à 4,5 watts/bougie, suivant l'âge de la lampe et son intensité nominale.

Les lampes à filament métallique dans le vide, dites *monowatts*, ont une consommation beaucoup plus faible, de l'ordre de 1 à 1,6 watt/bougie. Elles sont plus fragiles, c'est ce qui fait préférer la lampe à filament de carbone dans quelques cas, tels que : éclairage des voitures de tramways, lampes destinées à être accrochées sur des machines soumises à des trépidations, comme les métiers à tisser.

Les lampes à filament métallique dans une atmosphère neutre, dites lampes *demi-watt*, ont une consommation encore plus faible, de l'ordre de 0,5 à 0,7 watt/bougie. Elles sont beaucoup plus chères : il n'est pas recommandable d'employer des unités de moins de 100 bougies.

Le voltage. Les lampes sont construites pour un voltage déterminé pour lequel la durée moyenne de la lampe est de 1.000 heures pour les filaments de charbon et 2.000 pour les lampes monowatts. Si on les alimente à un voltage un peu plus élevé, on voit leur intensité lumineuse croître rapidement, tandis que la consommation spécifique décroît. Mais la durée en est abrégée sensiblement. Une lampe carbone survoltée de 5 p. 100 voit sa durée passer de 1.000 à 250 heures. Une lampe monowatt de 1.800 à 900 heures.

Selon le prix du courant et le prix des lampes, il peut être ou non avantageux de survolter; en général, actuellement un survoltage de 3 à 5 p. 100 est généralement avantageux pour les lampes carbone ou monowatt.

L'âge des lampes. Les lampes, en vieillissant, noircissent, ce qui fait baisser l'intensité lumineuse; en outre, la consommation spécifique augmente. Une lampe carbone qui consommait 3,2 watt-bougie, neuve, en consomme 4 après 1.000 heures de fonctionnement, et son intensité lumineuse a baissé de moitié.

Une lampe monowatt qui consommait 1,2, neuve, consommera environ 1,5 après 2.000 heures de fonctionnement; l'intensité lumineuse aura baissé de 20 p. 100 au maximum.

Naturellement le survoltage augmente ce

vieillessement. C'est pourquoi on devra tenir compte des variations accidentelles de tension qui sont capables de provoquer un survoltage involontaire, qui abrège la vie des lampes.

DOUILLES. — Ce sont des appareils servant de prise de courant aux lampes; il y a deux grandeurs de douilles : la douille ordinaire pour les lampes ordinaires, la douille Goliath pour les lampes de grosse intensité.

Pour les locaux humides, on fait des douilles à l'abri de l'humidité et de l'oxydation (en porcelaine, avec entrées en pipes).

SPÉCIFICATION D'UNE LAMPE. — La spécification doit comporter :

L'intensité lumineuse;

Le voltage nominal de la lampe (qui est le voltage disponible, s'il n'y a pas de survoltage);

Le type de lampe (carbone, monowatt ou demi-watt);

La consommation spécifique maximum de la lampe neuve (en watt-bougie);

La durée normale de la lampe (jamais garantie à cause de l'incertitude où est le constructeur des conditions d'emploi).

Lampes à vapeur de mercure. — Ces lampes sont très avantageuses pour l'éclairage des ateliers de grande superficie, qui ont besoin d'un éclairage très réparti, sans ombres, et ne fatigant pas la vue.

Leur inconvénient est la teinte violette de la lumière qui est désagréable pour une personne non habituée.

Elles nécessitent du courant continu pour leur alimentation. Cependant on construit actuellement un système de lampes où le courant est redressé par la lampe elle-même; on peut donc les alimenter par du courant alternatif.

Elles ont la forme de tubes.

La consommation spécifique est de l'ordre de 0,2 à 0,3 pour des foyers de 800 à 3.000 bougies.

Un dispositif spécial d'amorçage est nécessaire.

La *spécification* devra comprendre :

L'intensité lumineuse (on construit actuellement des lampes à partir de 500 bougies);

La nature du courant;

Le voltage disponible;

- La consommation spécifique qu'on ne veut pas dépasser.

L'intensité lumineuse des lampes à vapeur de mercure étant difficile à évaluer, et leur emploi exigeant une répartition et une disposition étudiée des foyers, il convient de confier ces installations à des *spécialistes*.

Réflecteurs, globes, diffuseurs. — Ces appareils ont pour but de concentrer les rayons lumineux émanés de la lampe sur la zone à éclairer, et de les répartir bien également sur toute l'étendue de cette zone.

Les *réflecteurs* sont placés au-dessus de la lampe, de couleurs claires, et réfléchissent la lumière sur la surface à éclairer. Ils sont en tôle émaillée ou vernie, ou encore en verre.

Les réflecteurs en verre prismatique sont ceux qui donnent le meilleur rendement, à condition qu'ils aient été étudiés judicieusement.

Les *globes* sont généralement en verre opalin, c'est-à-dire translucide, et entourent le foyer lumineux de façon à répartir l'éclat sur une plus grande surface, et de rendre la lumière plus agréable et plus régulière. Ils comportent généralement un réflecteur.

Les *diffuseurs* ont pour but de masquer l'éclat direct de la lampe pour la répartir sur une surface diffusante très étendue, par exemple un plafond peint en blanc. Ils donnent un éclairage très agréable, qui rappelle la lumière du jour, mais leur rendement lumineux est un peu faible. Ils doivent être installés d'une façon judicieuse : surface très claire, corps de l'appareil se raccordant bien à la surface diffusante.

8. Matériel de lignes

Nous étudierons successivement :

Les conducteurs nus (pour pose en ligne aérienne);

Les conducteurs isolés (pour installations intérieures);

Les conducteurs sous plomb armés (pour pose souterraine);

Le matériel isolant servant à la pose des conducteurs;

Les supports de lignes aériennes;

Les accessoires de canalisations souterraines.

Conducteurs nus. — Les facteurs intéressants dans le choix d'un conducteur sont :

- La nature et la résistivité du conducteur;
- La section;
- La composition du conducteur, fil ou câble.

NATURE ET RÉSISTIVITÉ DU CONDUCTEUR. — Les métaux employés pour les conducteurs sont :

Le *cuivre*. Le cuivre des conducteurs commerciaux est du cuivre électrolytique étiré, dit cuivre dur à haute conductibilité; sa résistivité est de 1,6 à 1,7 microhms-centimètre. Sa résistance mécanique est caractérisée par une charge de rupture de 40 kg./mm². Sa densité est de 8,9. Il se lamine couramment depuis 0,05 jusqu'à 7,5 mm. de diamètre. Il est élastique, et résiste bien aux agents atmosphériques.

Le *bronze siliceux*. C'est un métal à haute résistance mécanique : la charge de rupture est de 40 à 45 kg., mais la résistivité est un peu plus forte : de 1,7 à 1,8 microhms-centimètre. Il manque de souplesse, et résiste bien aux agents atmosphériques. Sa densité est sensiblement la même que celle du cuivre électrolytique. Son emploi est tout indiqué pour les lignes pour faibles intensités, devant supporter des efforts mécaniques élevés.

On ne câble généralement pas le bronze, qui manque de souplesse. C'est donc sous forme de fils qu'on le rencontrera. Cependant quelquefois on en fait l'âme des câbles en cuivre.

L'*aluminium*. Ce métal qui tend à supplanter partiellement le cuivre pour la construction des fils et des câbles, a une résistivité de 2,9 mi-

crohms-centimètre, et une charge de rupture de 20 à 22 kg./mm². Sa densité est de 2,7 environ. Pour les conducteurs nus, avec les prix actuels du métal, l'aluminium est plus avantageux que le cuivre. Pour les conducteurs isolés, l'avantage se réduit du fait de l'augmentation de diamètre pour une même section, augmentation de diamètre qui entraîne une augmentation du poids de l'isolant. En tous cas on fera bien de comparer chaque fois le prix de revient de la ligne en aluminium et en cuivre.

On tiendra compte de ce que :

A *égalité de conductibilité*, l'aluminium a une section de 1,66 fois celle du cuivre, un diamètre de 1,29 celui du cuivre, et son poids est 50,25 p. 100 de celui du cuivre;

A *égalité d'échauffement*, la section du conducteur en aluminium est 1,405 fois celle du cuivre, et son poids n'est que de 42 p. 100;

A *égalité de section*, la conductibilité de l'aluminium est 0,6 de celle du cuivre, et le poids est 30 p. 100 de celui du cuivre.

Un aluminium est bon pour les usages électriques, lorsque sa *composition* est :

Aluminium	99 p. 100
Impuretés	1 —

Un aluminium trop pur serait insuffisant comme résistance mécanique; trop chargé d'impuretés, sa résistivité croîtrait et sa résistance aux agents extérieurs serait insuffisante.

SECTION. — La section est déterminée :

1° Par *l'échauffement admissible*; au-dessus d'une certaine densité de courant, l'échauffe-

ment est trop fort et le métal risque de perdre ses qualités mécaniques.

On admet pour les conducteurs les densités de courant maxima suivantes :

Section du conducteur en mm ²	Densité de courant maxima en ampères par mm ²	
	Cuivre	Aluminium
7	5	3
13	4,4	2,6
28	3,2	2
50	2,5	1,5
78	2,2	1,3

2° Par la *chute de tension admissible* en ligne. Suivant la résistance de la ligne, et aussi, en courant alternatif, suivant sa réactance (une ligne, comme un enroulement a sa réactance propre, qui n'est pas négligeable pour des longueurs importantes), la tension en bout de ligne n'est qu'une fraction plus ou moins réduite de la tension aux génératrices. Etant données la tension des génératrices d'une part, et la tension nécessaire aux machines réceptrices d'autre part, il faudra donc que la section de la ligne soit suffisante, pour que la chute de tension ne dépasse pas la différence des tensions en question.

Nous verrons, dans le Volume II, un exemple de calcul de chute de tension en ligne (Chap. II, § 6).

3° Par la *perte d'énergie admissible* en ligne. La chute de tension correspond à une certaine dissipation d'énergie, et il est utile de se limiter l'énergie, que l'on veut perdre ainsi, à un pourcentage raisonnable de l'énergie transmise. On

calculera donc cette énergie avec les sections trouvées par les conditions ci-dessus, et si elle est trop forte, on devra augmenter les sections. L'exemple que nous annonçons plus haut contiendra également un calcul analogue.

COMPOSITION DU CONDUCTEUR. — Le conducteur peut être un simple *fil* ou un *câble* composé de plusieurs fils toronnés ensemble.

Pour les lignes aériennes, on admet généralement que le diamètre minimum permettant à un fil de résister à l'effort mécanique auquel il est soumis est de 3 millimètres. On peut faire des fils de tout diamètre supérieur, mais il convient de ne pas dépasser 6 millimètres, car le conducteur est trop raide et la pose en est très difficile. Lorsque la section nécessaire est supérieure à 30 mm², il est donc préférable de prendre du câble, qui est beaucoup plus souple.

Nous donnons, dans le tableau ci-après, les dimensions de fils et de câbles en cuivre les plus courantes, avec la résistance par 1.000 m., le poids et le diamètre approximatif du câble.

Nombre de fils	Diamètre de chaque fil en mm.	Section en mm ²	Diamètre du câble en mm.	Poids en kg./km.	Résistance en ohms par km.
1	8/10	0,50	8/10	4,47	31,78
1	9/10	0,63	9/10	5,66	25,11
1	10/10	0,78	10/10	6,99	20,34
1	11/10	0,95	11/10	8,46	16,31
1	12/10	1,13	12/10	10,06	14,04
1	13/10	1,33	13/10	11,81	12,08
1	14/10	1,54	14/10	13,7	10,38
1	15/10	1,77	15/10	15,73	9,05

Nombre de fils	Diamètre de chaque fil en mm.	Section en mm ²	Diamètre du câble en mm.	Poids en kg./km.	Résistance en ohms par km.
1	16/10	2,01	16/10	17,89	7,95
1	17/10	2,27	17/10	20,20	7,04
1	18/10	2,54	18/10	22,65	6,28
1	19/10	2,83	19/10	25,23	5,68
1	20/10	3,14	20/10	27,96	5,08
1	21/10	3,46	21/10	30,82	4,61
1	22/10	3,80	22/10	33,83	4,20
1	23/10	4,15	23/10	36,97	3,84
1	24/10	4,52	24/10	40,26	3,53
1	25/10	4,91	25/10	43,69	3,25
1	26/10	5,31	26/10	47,25	3,01
1	27/10	5,72	27/10	50,96	2,79
1	28/10	6,16	28/10	54,80	2,59
1	29/10	6,60	29/10	58,78	2,42
1	30/10	7,07	30/10	62	2,25
1	32/10	8,04	32/10	71,6	1,98
1	34/10	9,08	34/10	80,80	1,76
1	36/10	10,18	36/10	90,59	1,57
1	38/10	11,34	38/10	100,94	1,41
1	40/10	12,56	40/10	111,84	1,27
1	42/10	13,85	42/10	123,30	1,15
1	44/10	15,20	44/10	135,33	1,05
1	46/10	16,62	46/10	147,91	0,96
1	48/10	18,09	48/10	161,05	0,88
1	50/10	19,63	50/10	174,75	0,81
1	52/10	21,23	52/10	189,01	0,75
1	54/10	22,90	54/10	203,83	0,69
1	56/10	24,63	56/10	219,21	0,65
1	58/10	26,42	58/10	235,14	0,60
1	60/10	28,27	60/10	251,64	0,56
7	7/10	2,7	21/10	25	5,7

Nombre de fils	Diamètre de chaque fil en mm.	Section en mm ²	Diamètre du câble en mm.	Poids en kg./km.	Résistance en ohms par km.
7	8/10	3,52	24/10	33	4,59
7	9/10	4,45	27/10	42	3,72
7	10/10	5,5	30/10	52	2,93
7	11/10	6,65	33/10	62	2,42
7	12/10	7,92	36/10	74	2,18
7	13/10	9,3	39/10	88	1,74
7	14/10	10,8	42/10	102	1,59
7	15/10	12,4	45/10	117	1,39
7	16/10	14,1	48/10	133	1,14
7	17/10	15,9	51/10	150	1,01
7	18/10	17,8	54/10	168	0,91
7	19/10	19,8	57/10	186	0,81
19	12/10	21,5	60/10	203	0,77
19	13/10	25,3	65/10	238	0,64
19	14/10	29,3	70/10	276	0,53
19	15/10	33,6	75/10	316	0,475
19	16/10	38,2	80/10	359	0,42
19	17/10	43,1	85/10	405	0,37
19	18/10	48,3	90/10	453	0,33
19	19/10	53,9	95/10	506	0,30
19	20/10	59,7	100/10	560	0,27
37	16/10	74,4	112/10	700	0,21
37	17/10	84	119/10	790	0,19
37	18/10	94	126/10	884	0,17
37	19/10	104,2	133/10	980	0,15
37	20/10	116	140/10	1.096	0,14
37	21/10	128,2	147/10	1.205	0,124
37	22/10	140,6	154/10	1.320	0,115
37	23/10	153,7	161/10	1.440	0,104
37	24/10	167,4	168/10	1.570	0,095
37	25/10	181,7	175/10	1.710	0,089

Nombre de fils	Diamètre de chaque fil en mm.	Section en mm ²	Diamètre du câble en mm.	Poids en kg./km.	Résistance en ohms par km.
37	26/10	196	182/10	1.845	0,080
37	27/10	212	189/10	1.990	0,075
37	28/10	227,8	196/10	2.143	0,070
37	29/10	244,4	203/10	2.294	0,065
37	30/10	261,6	210/10	2.463	0,060
61	25/10	299	225/10	2.820	0,054
61	26/10	323,8	234/10	3.040	0,049
61	27/10	349,5	243/10	3.290	0,046
61	28/10	376	252/10	3.540	0,043
61	29/10	403	261/10	3.780	0,040
91	{ 25/10 } { 26/10 }	450	275/10	4.190	0,035
91	{ 26/10 } { 27/10 }	500	295/10	4.650	0,032
91	{ 27/10 } { 28/10 }	550	306/10	5.120	0,029
91	{ 28/10 } { 29/10 }	600	319/10	5.580	0,026
91	{ 30/10 } { 31/10 }	650	335/10	6.050	0,024
91	{ 31/10 } { 32/10 }	700	348/10	6.510	0,023
91	{ 32/10 } { 33/10 }	750	359/10	6.980	0,021
91	{ 33/10 } { 34/10 }	800	370/10	7.440	0,020
91	{ 35/10 } { 36/10 }	900	393/10	8.370	0,017
91	{ 37/10 } { 38/10 }	1.000	418/10	9.300	0,015
127	20/10	399	260/10	3.750	0,034

Enfin il existe dans les sections de 3 à 300 mm² des câbles, dits câbles souples, composés de fils très fins; ces câbles sont destinés principalement aux connexions des machines.

Les remarques faites plus haut au sujet de la comparaison du cuivre et de l'aluminium permettront de trouver la section d'un *câble d'aluminium* correspondant à une section déterminée de câble cuivre, prise dans le tableau ci-dessus.

On emploie des câbles comportant une âme en acier, entourée d'un toronnage en aluminium; cette construction permet une résistance mécanique élevée, malgré l'emploi d'un conducteur peu résistant mécaniquement.

Conducteurs isolés.— Les facteurs intéressants dans le choix d'un tel conducteur sont :

La nature et la résistivité du conducteur;

La section;

La composition du conducteur;

La nature, la résistance d'isolement, et la résistance diélectrique de l'isolant, sa protection mécanique.

NATURE ET RÉSISTIVITÉ DU CONDUCTEUR. — Actuellement c'est le cuivre qui est le plus employé des conducteurs pour les câbles isolés: cuivre électrolytique, analogue à celui qui nous avons décrit à propos des conducteurs nus, mais recuit. La résistance à la traction ne dépasse pas 25 kg./mm².

Le bronze siliceux n'a pas d'intérêt, les lignes isolées n'ayant pas d'efforts de traction importants à supporter.

Quant à l'aluminium, il est beaucoup moins

intéressant que pour les conducteurs nus; l'augmentation de diamètre, qui est la conséquence de son emploi entraînant une augmentation du poids de l'isolant, qui vient compenser au moins en partie le prix moins élevé du métal.

SECTION. — La section est déterminée :

a) Par l'échauffement admissible; si la densité de courant devient trop forte, l'échauffement est tel que l'isolant risque d'être détérioré.

Les limites de la densité de courant à admettre pour des fils et câbles isolés au caoutchouc, posés sous moulures, sous tubes et sur poulies sont :

Section du conducteur en m/m ²	Densité de courant maxima en amp./mm ²	Idem normale
1	5	3
2,5	4	
10	3	2
20	2,5	
40	2	
80	1,75	1
150	1,5	
300	1,25	
700	1	

b) Par la chute de tension admissible en ligne (Voir le cas des câbles nus).

c) Par la perte d'énergie admissible en ligne (Voir le cas des câbles nus).

COMPOSITION DU CONDUCTEUR. — La compo-

sition du conducteur est la même que celle des conducteurs nus. On se reportera donc au tableau plus haut.

NATURE, RÉSISTANCE D'ISOLEMENT, ET RÉSISTANCE DIÉLECTRIQUE DE L'ISOLANT, PROTECTION MÉCANIQUE. — L'isolant employé pourra être :

Du *caoutchouc* pur ou para. Excellent isolant, très souple, ne s'oxyde pas à l'air, se soude à lui-même. Son inconvénient est de devenir cassant au-dessous de 8°, et visqueux au-dessus de 100°;

Du *caoutchouc naturel*. C'est du para mélangé à des matières inertes. Il a à peu près les mêmes qualités que le para, mais sa résistance d'isolement est moins grande, et selon les matières qui lui sont incorporées, il peut être plus ou moins instable;

Du *caoutchouc vulcanisé*. Résiste mieux à l'eau et supporte un peu mieux les variations de température, mais s'oxyde à l'air, et ne se soude pas à lui-même. Attaque le cuivre. On ne l'emploiera donc pas pour la première couche, à moins que l'on n'étame le cuivre;

Du *ruban caoutchouté*. Employé généralement comme protecteur du caoutchouc;

Du *guipage coton*. Employé pour protéger une couche de para, dans les câbles pour endroits très secs. Absorbe l'humidité. On doit donc le protéger par un enduit.

Employé directement sur le cuivre pour les conducteurs destinés à constituer les enroulements des machines électriques.

La *résistance d'isolement* est analogue à la résistance d'un conducteur. En effet, les corps

dits isolants ne sont jamais parfaits et laissent toujours passer un peu de courant, comme des conducteurs très résistants. On exprime la résistance d'isolement en *mégohms par kilomètre* de câble (1 mégohm = 1.000.000 ohms).

Les câbles sont généralement classés en catégories par leur résistance d'isolement (du câble neuf).

La *rigidité diélectrique* caractérise le câble au point de vue de sa résistance au claquage par la tension. Les tensions d'essai sont en général de 3 fois la tension normale pendant 3 minutes, pour l'essai en usine, et de 2 fois après pose, avec minimum de 1.500 volts. Il faudra en tous cas indiquer la tension de service.

La *protection mécanique* est généralement assurée par un *ruban* enduit ou par une *trousse* en fil de coton, également enduite. Elle permet d'assurer l'isolant proprement dit des accidents qui pourraient lui arriver pendant la pose. Pour les conducteurs placés sur poulies, la protection mécanique doit être sérieuse, à cause des efforts de déchirement exercés par les attaches du conducteur sur les poulies. Pour les conducteurs sous tubes, il faut éviter les effets du frottement des fils lorsqu'ils sont introduits et tirés dans le tube. Pour la pose sous moulures, la protection mécanique a beaucoup moins d'importance, c'est plutôt la résistance d'isolement qui intervient.

On emploie aussi, pour certaines installations, des conducteurs *sous plomb*, permettant de noyer les conducteurs dans la maçonnerie ou de lui faire traverser les endroits humides. Nous

ne recommandons pas l'emploi de ces conducteurs pour les installations industrielles : il est nécessaire, en effet, que la fermeture des extrémités soit parfaite, pour que l'humidité ne pénètre pas dans l'isolant, ce qui mettrait le conducteur en communication avec l'enveloppe de plomb. D'autre part, il faut craindre d'écraser le plomb, ce qui détériorerait irrémédiablement l'isolant. Le tube plombé est préférable, car il permet de retirer en cas de besoin le conducteur. Enfin les fils et câbles sous plomb sont fort chers.

Nous concluons en donnant une *classification* de fils et câbles les plus courants :

Câble pour tension de *3.000 volts*. Isolement : 5.000 mégohms/km. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité. Isolant comprenant : plusieurs couches de caoutchouc vulcanisé, 2 rubans caoutchoutés, avec ou sans tresse, et enduit;

Câble pour *1.500 volts*. Isolement : 3.000 mégohms/km. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité. Isolant comprenant : 2 couches caoutchouc naturel, 2 couches caoutchouc vulcanisé, 2 rubans caoutchoutés, avec ou sans tresse, enduit rouge;

Câble pour *500 volts*. Isolement : 1.200 mégohms/km. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité. Isolant comprenant : 1 couche caoutchouc naturel, 2 couches caoutchouc vulcanisé, 2 rubans caoutchoutés, avec ou sans tresse, enduit rouge;

Câble pour *220 volts*. Isolement : 600 mégohms. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité. Isolant comprenant : 2 couches

caoutchouc vulcanisé, 2 rubans caoutchoutés, avec ou sans tresse, enduit jaune,

Câble pour *110 volts*. Isolement : 300 mégohms. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité. Isolant comprenant : 1 couche caoutchouc naturel, 1 couche caoutchouc vulcanisé, 2 rubans caoutchoutés, avec ou sans tresse, enduit rouge;

Câble pour *endroits secs*, dit à *isolement fort*, mais non garanti. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité. Isolant comprenant : 1 couche caoutchouc vulcanisé, 1 ruban caoutchouté, enduit noir.

Câble pour *endroits secs*. Isolement non garanti. Conducteur en cuivre étamé, haute conductibilité, 1 couche caoutchouc naturel ou para, 2 guipages coton, 1 tresse enduite. Dit à *isolement moyen*;

Câble pour *endroits très secs*. Isolement non garanti. Conducteur en cuivre rouge, haute conductibilité. Isolant comportant : 1 ou 2 guipages coton, 1 tresse enduite;

Conducteurs sous plomb armés.— Pour la pose souterraine en tranchées, on emploie des câbles isolés au caoutchouc ou au papier imprégné, revêtus d'une enveloppe de plomb étanche, et d'une tresse protectrice en acier.

Les facteurs intéressants sont :

La nature et la résistivité du conducteur;

La section;

La composition du conducteur;

La nature, la résistance d'isolement, et la résistance diélectrique de l'isolant, sa protection mécanique.

NATURE ET RÉSISTIVITÉ DU CONDUCTEUR. — C'est le *cuivre* qui est presque exclusivement employé : l'emploi de l'aluminium conduit en effet à des sections qui augmentent dans des proportions considérables le volume de l'isolant nécessaire.

SECTION. — La section est déterminée :

a) Par l'*échauffement admissible*, au delà duquel on risque de voir se détériorer les isolants. Les limites admises par le *Comité électrotechnique français* sont les suivantes :

INTENSITÉS ADMISSIBLES EN AMPÈRES

Section du cuivre en mm ²	Câbles à 1 cond. jusqu'à 700 v.	Câbles multiples jusqu'à 20.000 v.			
		2 cond. concentr.	2 cond. toronnés	3 cond. toronnés	4 cond. toronnés
20	130	85	95	75	65
30	160	105	110	95	78
40	190	125	130	105	90
50	210	140	145	120	100
75	260	175	175	145	120
100	305	205	195	165	140
150	355	255	245	200	170
200	440	295	280	230	195
250	490	330	310	260	
300	530	365			
400	625	425			
500	695				
600	765				
700	830				
800	890				
1.000	995				

Cependant, même dans les plus petites sec-

tions, il est recommandé de ne pas dépasser 4 amp./mm².

b) Par la *chute de tension*, comme pour les lignes aériennes et les conducteurs isolés pour installations intérieures.

c) Par la *perte d'énergie*, comme pour les lignes aériennes et les conducteurs isolés pour installations intérieures.

COMPOSITION DU CONDUCTEUR. — Les câbles peuvent être simples ou multiples : les câbles *simples* ne s'emploient qu'en courant continu ;

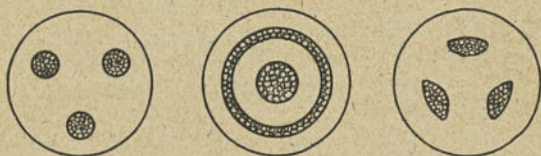


FIG. 121. — Différentes formes de câbles armés triphasés.

en courant alternatif, la présence de l'armature en acier entre deux conducteurs d'une même ligne causerait des pertes d'énergie inadmissibles par hystérésis et courants de Foucault.

Les câbles *multiples* sont en général composés de câbles analogues à ceux que nous avons vus pour les lignes nues, *toronnées*. Quelquefois on emploie les câbles *concentriques*. Pour les câbles toronnés, on emploie aussi quelquefois des formes spéciales, qui font perdre moins de place, mais le câble ainsi formé est toujours moins souple que le câble toronné (fig. 121).

NATURE, RÉSISTANCE D'ISOLEMENT, RÉSISTANCE DIÉLECTRIQUE DE L'ISOLANT. PROTECTION MÉCANIQUE. — Les câbles pour canalisations souterraines sont isolés au papier ou au caoutchouc.

Le *papier* est très employé actuellement; il est en effet d'un prix relativement bas, et se conserve en bon état d'isolement à des températures assez élevées si l'imprégnation a été bien faite. Il est un peu moins souple que le caoutchouc.

Le papier est enroulé directement sur les conducteurs, puis, du moins pour les câbles multiples, vient une couche de remplissage de composition variable selon les constructeurs, revêtue à son tour d'une couche de papier imprégné.

On n'impose généralement aucune condition d'*isolement*, les conditions de rigidité diélectrique étant beaucoup plus probantes.

Voici les conditions de rigidité diélectrique admises pour les essais de réception des câbles *en usine* (essai en courant alternatif) :

Pour une tension de service de moins de 20.000 volts, 4 fois la tension normale entre conducteurs et plomb pendant 3 minutes, puis 3 fois la tension normale pendant 30 minutes;

Pour une tension de plus de 20.000 volts, 2 fois la tension normale, plus 40.000, pendant 3 minutes, puis la tension normale, plus 40.000, pendant 30 minutes.

Les essais *après pose* sont faits, soit en continu, soit en alternatif :

Pour moins de 20.000 volts, en alternatif, 2 fois la tension normale entre conducteurs,

et 1,5 fois entre conducteurs et plomb; en continu, 5 et 3,5 fois;

Pour plus de 20.000 volts, en alternatif, entre conducteurs, la tension normale, plus 20.000; entre conducteurs et plomb, la normale, plus 10.000; en continu, la normale, plus 80.000, et la normale, plus 50.000.

Chaque essai dure 15 minutes.

Il faudra donc indiquer *la tension de service*.

Pour une tension de service, de moins de 600 volts, la tension d'essai sera au minimum de 1.500 volts.

La *protection* des câbles est assurée : par une enveloppe de plomb continue et sans soudure, puis par une couche de matière fibreuse formant matelas (jute); enfin une armure de feuilards ou de fils d'acier, entourée elle-même par une couche de filin ou une toile. L'ensemble est goudronné soigneusement, et enduit extérieurement de craie ou de talc pour prévenir l'adhérence.

Les *séries normales* de câbles sont prévues pour les tensions de service suivantes :

1.100, 3.500, 6.000, 11.000, 15.000, 16.500 et 24.000 volts.

Matériel isolant servant à la pose des conducteurs. — Ce matériel comprend :

- Les isolateurs proprement dits;
- Les poulies isolantes;
- Les cavaliers isolants;
- Les tubes;
- Les moulures.

ISOLATEURS. — Les isolateurs, destinés à la fixation des lignes en fil ou câble nu sur les supports des lignes, lignes exposées aux intem-

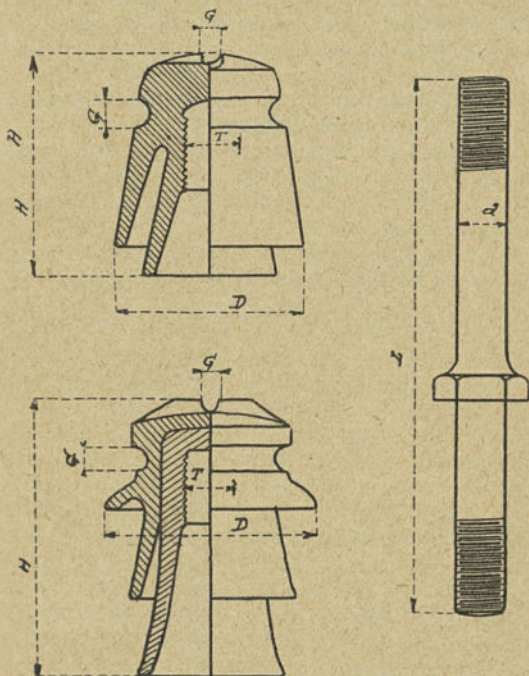


FIG. 122. — Isolateurs de ligne et ferrure.

péries, se construisent en *porcelaine* ou en *verre*.

Leur forme doit être telle que la *pluie* ne vienne pas établir de communication entre le

conducteur et la tige de l'isolateur, et telle, d'autre part, que la *ligne de fuite*, c'est-à-dire le trajet à parcourir pour les courants de pertes suivant la surface de l'isolateur pour aller du point d'attache du conducteur à la tige, soit la plus longue possible.

Les formes les plus usitées sont celles à simple, double ou triple *cloche*, en une pièce ou en plusieurs pièces scellées (fig. 122).

Il ne faut pas non plus qu'il y ait des pertes par la masse de la matière; pour cela, celle-ci doit être homogène, sans fissures et bien vitrifiée à cœur.

Pour les lignes industrielles, même en basse tension, il faut au moins la double cloche.

Voici les dimensions d'une série d'isolateurs :

Cloche	Hauteur	Dia- mètre ma- ximum	Dia- mètre du trou	Largeur de la gorge	Diamètre de la tige de scellem ^t
—	—	—	—	—	—
Double	60	45	12	7	9
—	80	60	18	10	15
—	100	70	25	16	21
—	120	100	23	15	20
—	135	120	23	20	20
Triple	145	110	23	15	20
—	165	125	24	15	20
—	195	150	30	20	25
—	210	175	30	20	25
—	225	200	30	20	25
—	250	225	35	20	28
—	280	250	35	20	30
—	300	300	40	20	32
—	320	350	40	20	32
—	500	350	40	20	36

Pour réceptionner un type d'isolateur, on le soumet à des *essais de tension*, à sec et sous la pluie.

Essai à sec à une tension de 3 fois la tension de service, pour des tensions jusqu'à 10.000 volts, et à 2 fois, plus 10.000, pour des tensions de service supérieures.

L'essai dure 10 minutes jusqu'à 24.000 volts. 20 minutes jusqu'à 50.000, et 30 minutes au delà.

La tension est appliquée entre la ferrure et la ligature.

Essai sous la pluie : on réalise une pluie de 10 à 12 mm. de hauteur d'eau par minute tombant à 45°. Une fois et demie la tension normale pendant 3 à 5 minutes.

L'isolateur doit avoir une résistance mécanique lui permettant de ne pas se briser sous l'effet des efforts qui lui seront appliqués en service et pendant la pose. La valeur de cet effort dépend des types d'isolateurs.

L'isolateur doit résister aux *variations de température*, sans crique ou éclatement de la couche d'émail superficielle. Les limites de température admises aux essais sont de 10 à 70°.

Les isolateurs sont supportés par des *tiges* scellées dans l'orifice intérieur de l'isolateur. Les tiges droites sont toujours à préférer, à cause de leur plus grande résistance mécanique.

Les tiges coudées ou en U ne sont à adopter que pour des lignes en fil de petite dimension tirant peu (petites portées).

Le scellement des tiges dans les isolateurs peut se faire :

Au soufre. Le soufre fondu adhère très bien, mais à la longue, il se produit des cristaux qui compromettent l'adhérence ou font éclater l'isolateur;

Au plâtre. Le gonflement du plâtre au durcissement peut faire éclater l'isolateur;

Au ciment. Le scellement au ciment est excellent, à condition d'employer du ciment de

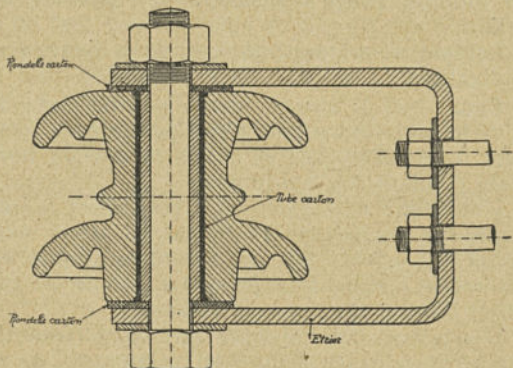


FIG. 123. — Isolateur d'arrêt avec sa ferrure.

bonne qualité. Le ciment fondu, que l'on fabrique actuellement donne d'excellents résultats, car la prise est assez rapide; pour l'appareillage, on fait aussi des scellements à la litharge.

Pour la fixation des lignes sur poteaux d'arrêt, à l'extrémité des lignes, ou aux angles, on doit employer des *isolateurs d'arrêt* (fig. 123) constitués par des cylindres de porcelaine, munis à la surface de cloches, et percés d'un trou central de bout en bout. On passe dans

ce trou une tige qui est fixée aux 2 extrémités par une ferrure, qui vient elle-même se fixer à la traverse.

Pour les entrées de bâtiments, on se sert de tubes recourbés en forme de *pipe*, disposés de telle sorte que les gouttes d'eau qui glissent le long du conducteur ne puissent rentrer.

Voici les dimensions d'une série de pipes en porcelaine pour entrée de conducteurs :

Longueur totale	Diamètre intérieur	Type
—	—	—
65	11,5	à scellement
85	13	—
100	16	—
120	18	—
150	22	—
180	26	—
65	11	à bride
85	12	—
100	18	—
120	23	—
150	28	—
180	35	—

POULIES ISOLANTES. — Utilisées exclusivement pour les installations intérieures en câble isolé, car la ligne de fuite est insignifiante, et il n'y a aucune protection contre la pluie.

Il faut toujours les choisir de gros échantillon et du type dit « haut » pour leur permettre de garder leur valeur isolante, malgré les dépôts de poussière et d'humidité. La fixation se fait par tirefonds dans le bois, par boulon dans la charpente métallique, par tiges filetées à scellement dans la maçonnerie.

Voici les dimensions normales d'une série de poulies hautes porcelaine (fig. 124).

Hauteur	Diamètre	Hauteur de la gorge	Diamètre du trou
—	—	—	—
10	10	3	3
12	12	3	3
15	15	5	5
20	20	6	5
25	25	7	7
30	30	9	9
30	35	9	9
35	40	12	12
40	40	13	13
40	45	13	13
45	50	16	15
50	55	16	17
60	60	16	17
70	70	26	18

Voici les mêmes renseignements pour une série de poulies basses :

Hauteur	Diamètre	Hauteur de la gorge	Diamètre du trou
—	—	—	—
10	10	5	3
11	15	5	5
13	20	6	6
14	25	6	6,5
15	30	7	7,5
17	35	8	10
20	40	10	12
25	50	13	16
30	60	14	17
35	70	16	21,5
40	80	20	22,5
45	90	23	25
50	100	25	30

PONTS ISOLANTS. — Utilisés quelquefois pour des installations intérieures en câble isolé. Peu à recommander, car le pont écrase les isolants et il peut se produire des fuites entre conducteurs de polarité différente.

TUBES. — Très employés pour les installations intérieures, car ils permettent de faire des installations très propres, d'un isolement satisfaisant.

Les tubes comportent :

Le *tube* isolant proprement dit, qui doit être



FIG. 124. — Poulies isolantes, types haut et bas.

en une matière flexible et incombustible, possédant de hautes qualités isolantes;

La *chemise* qui peut être :

En *laiton*, pour les installations intérieures apparentes;

En *aluminium*, pour les mêmes applications que le laiton, mais la résistance mécanique est un peu faible;

En *tôle plombée*, pour les locaux exposés aux acides, pour les traversées de maçonnerie, etc.;

En *acier*, sans soudure, lorsque la résistance mécanique doit être considérable, pour noyer dans le ciment, etc.

Les tubes se désignent par leur diamètre intérieur : les types les plus courants sont : 7, 9, 11, 13, 16, 23, 29, 36, 48 mm.

A chaque type de tubes correspondent des séries de raccords, coudes, boîtes de dérivation, etc.

On doit choisir le *diamètre* assez grand pour que les fils puissent toujours être introduits ou retirés, entre 2 boîtes de dérivation, le tube étant complètement posé.

En courant *alternatif*, il ne faut jamais mettre 2 fils de phases différentes dans des tubes différents; on s'exposerait à des pertes considérables par courants de Foucault (et par hystérésis dans les tubes en fer), auxquelles correspondrait une chute de tension inadmissible, sans parler de l'échauffement des tubes.

Le *matériel accessoire* pour les installations sous tubes étant très divers, nous renvoyons aux catalogues des constructeurs, qui décrivent les différents appareils employés. Ne pas oublier qu'il y a deux espèces d'installations : les installations *étanches* et les installations *non étanches*. A ces deux modes de pose correspondent des appareils différents.

MOULURES. — Se font en bois de pin ou de sapin, à 1, 2, 3 ou 4 rainures.

Le bois doit être *imprégné* pour ne pas absorber l'humidité; cette précaution est nécessaire et pas toujours suffisante; c'est pourquoi on ne devra employer les moulures que pour des locaux bien secs.

Les moulures se désignent par la largeur des *rainures*, qui peut varier de 4 à 45 mm., et

par le nombre de ces rainures. Le couvercle peut être mouluré ou plat.

Supports de lignes aériennes. — Ces supports sont :

- Les poteaux en bois;
- Les poteaux métalliques en profilés;
- Les poteaux tubulaires;
- Les pylônes en treillis métallique;
- Les pylônes en béton armé;
- Les potelets et consoles pour installations en bordure de murs ou sur les toits.

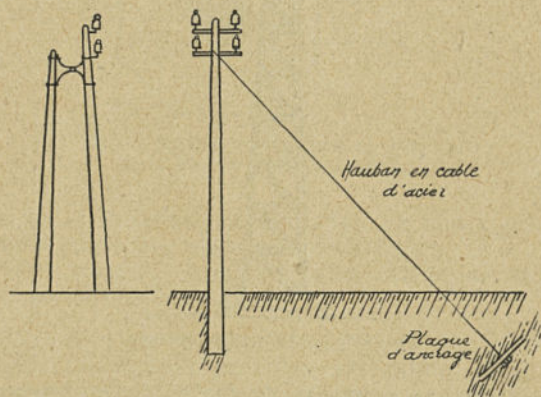


FIG. 125. — Poteaux haubannés et avec jambe de force.

POTEAUX EN BOIS. — Se font en pin ou sapin injecté au sulfate de cuivre ou au bichlorure de mercure.

Les dimensions commerciales sont :

Longueur	Diamètre à 1 m. de la base	Diamètre au sommet
8,00	0,18	0,12
10,00	0,22	0,14
12,00	0,26	0,17

Pour les poteaux d'angle, on emploie des

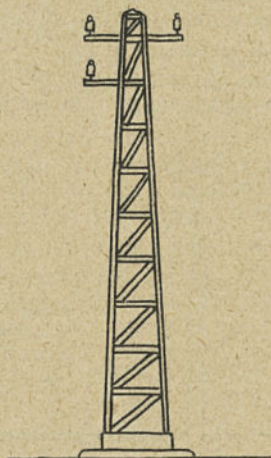


FIG. 126. — Pylône métallique.

poteaux avec *jambes de force*, ou *haubannes* (fig. 125).

On peut aussi employer des poteaux *jumelés*. On a toujours intérêt à faire faire soi-même les pièces nécessaires aux assemblages : tendeurs de haubans, ancrages, croisillons d'entretoisement, etc.

Les *traverses* destinées à supporter les tiges d'isolateurs se font généralement en bois : des chevrons de 7×7 cm. ou de 8×8 cm., par exemple.

POTEAUX MÉTALLIQUES EN PROFILÉS. — Se composent le plus souvent d'un U, de deux U assemblés ou d'un I.

POTEAUX TUBULAIRES. — Se composent de tubes en acier s'emmanchant les uns dans les

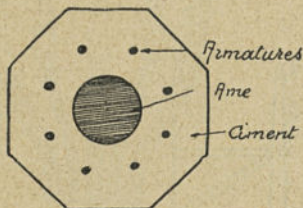


FIG. 127. — Section d'un poteau en béton armé avec âme en bois (Bourgeat).

autres, très faciles à transporter. Ils sont assez chers, mais leur aspect est satisfaisant.

Les traverses sont des tubes carrés, de 35 ou de 45 mm. de côté.

PYLÔNES EN TREILLIS MÉTALLIQUES. — Permettent une bien meilleure utilisation de la matière, mais ne sont avantageux que si les efforts à supporter sont considérables, et si la ligne est destinée à durer longtemps, car ils reviennent assez cher (fig. 126).

PYLÔNES EN BÉTON ARMÉ. — Sont généralement plus avantageux que les pylônes à treillis

métalliques. Les formes sont extrêmement diverses.

A signaler les poteaux en ciment armé avec âme en bois qui sont faciles à exécuter sur place (fig. 127).

Nous donnons, en figure, un type courant de potelet en cornières assemblées (fig. 128).

Les POTELETS ET CONSOLES sont généralement formés :

Soit d'un morceau de poteau soutenu par

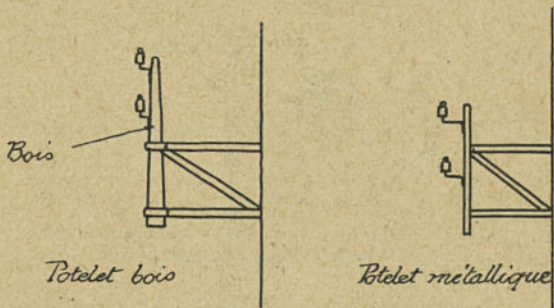


FIG. 128. — Potelets.

des pièces métalliques qui sont scellées dans le mur;

Soit d'un ensemble de cornières.

Enfin on construit des consoles en ciment armé.

Accessoires de canalisations souterraines. — Ces accessoires comprennent :

Les *cornets* ou *boîtes d'extrémité*, en matière isolante moulée ou en fonte. Le câble arrive

par l'extrémité inférieure de la boîte, et les conducteurs séparés les uns des autres et séparés de l'armure sortent par l'autre extrémité. Une *matière isolante* est coulée à l'intérieur afin d'assurer une étanchéité parfaite (fig. 129).

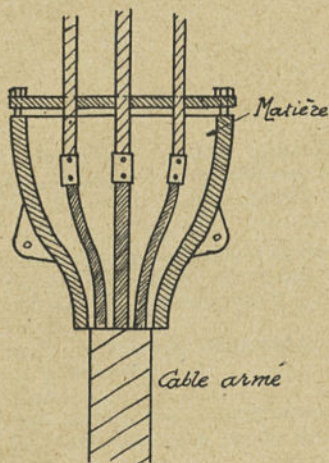


FIG. 129. — Boîte d'extrémité pour câble armé.

Les *boîtes de coupures, de raccordement* qui sont généralement en fonte, et dans lesquelles sont faites les connexions entre deux câbles se prolongeant, ou entre un câble et une dérivation. Comme dans la boîte d'extrémité, c'est en noyant dans la matière isolante la partie où se fait la dissociation des éléments du câble que l'on assure l'étanchéité.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	5
CHAPITRE PREMIER. — Etude générale des principaux facteurs à considérer dans le problème du choix d'une machine électrique	9
1. Classification des machines électriques..	9
2. Fréquence et nombre de phases des machines à courant alternatif.....	11
3. Tension	12
4. Couple, puissance, intensité et facteur de puissance.....	22
5. Vitesses ..,.....	32
6. Genre de service, échauffement, mode de refroidissement, mode de protection	37
7. Rendement, consommation à vide.....	42
8. Rigidité diélectrique des isolants.....	51
9. Partie mécanique.....	52
CHAPITRE II. — Détermination des caractéristiques relatives aux machines électriques et des garanties à imposer aux constructeurs	61
1. Dynamo à courant continu.....	62
2. Moteur à courant continu.....	74
3. Alternateur synchrone.....	89
4. Moteur synchrone.....	102
5. Moteur asynchrone.....	114

6. Moteur à collecteur; choix entre les différents systèmes de moteurs à courant alternatif.....	129
7. Transformateur statique.....	142
8. Commutatrice	154
9. Groupes convertisseurs; choix entre les différents systèmes de transformation d'alternatif en continu.....	160
 CHAPITRE III. — Etude des caractéristiques utiles pour le choix de l'appareillage électrique	
1. Données générales sur l'appareillage...	165
2. Appareils de connexion, de déconnexion et d'interruption.....	174
3. Appareils de réglage	204
4. Appareils de protection	231
5. Appareils de mesure	249
6. Accumulateurs	267
7. Appareillage d'éclairage.....	274
8. Matériel de lignes.....	283

SOCIÉTÉ ALSACIENNE

de Constructions Mécaniques

Usines : BELFORT (Terr. de), MULHOUSE (Haut-Rhin), GRAFFENSTADEN (Bas-Rhin)

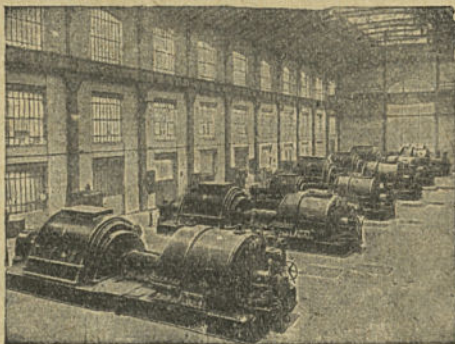
Maisons à :

PARIS, 4, rue de Vienne
LILLE, 61, rue de Tournai
MARSEILLE, 40, rue Sainte
NANTES, 5, quai de la Fosse



Maisons à :

LYON, 13, rue Grôlée
NANCY, 61, rue de Tournai
ROUEN, 7, rue de Fontenelle
BORDEAUX, 9, Cr^e du Chapeau Rouge



MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

Dynamos — Alternateurs — Groupes électrogènes — Moteurs électriques pour toutes applications — Transformateurs — Convertisseurs — Commutatrices — Commandes électriques pour laminoirs — Machines d'extraction électriques — Tramways et locomotives électriques — Fils et câbles isolés pour l'électricité

Installation complète
de Stations Centrales et de réseaux de traction électrique

AUTRES FABRICATIONS : Chaudières — Machines et Turbines à vapeur — Moteurs à gaz — Machines soufflantes — Machines pour l'industrie textile — Machines et appareils pour l'industrie chimique — Installations de chauffage industriel — Locomotives à vapeur — Machines-Outils — Petit Outillage - Crics et Vérins UG - Bascules - Transmissions

Installations Electriques

■ ■ ■

Postes Haute Tension
Tableaux :: Moteurs

■ ■ ■

Robert LABRAM & C^{ie}

7, Boulevard d'Asnières

NEUILLY (Seine)

SOCIÉTÉ ANONYME

J. BOCUZE & C^{ie}

20, Rue Crillon, 20 — LYON

FILS de tous MÉTAUX

POUR APPLICATIONS ÉLECTRIQUES

Cuivre H. C., Aluminium, Mallechort, Constantan,
Nickel, Bronzes et Laitons spéciaux

BARRES DE TOUS PROFILS

pour

MACHINES et APPAREILLAGE

Etablissements - - - - -

MERLIN & GERIN

Rue du Monestier de Clermont, GRENOBLE

Constructeurs - Spécialistes du
:-: GROS APPAREILLAGE :-:
HAUTE ET BASSE TENSION

Etude et Equipement de : ==
== STATIONS CENTRALES
POSTES DE TRANSFORMATION

(Voir gravures de nos appareils dans l'Ouvrage)

Un Million d'Appareils en Service

Demandez

le

Catalogue



Méfiez-vous

des

Imitations

Chauffage

CALOR

Electrique

200, Rue Boileau, LYON

POTEAUX

SAPIN

Injectés au Sulfate de Cuivre

PAR LE

Procédé **BOUCHERIE**

++++E++++

Maurice **BOUVET** & C^{ie}

SALINS (Jura)

Librairie J.-B. **BAILLIÈRE & FILS**, 19, Rue Hautefeuille, PARIS

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

Installations Électriques Particulières

ÉCLAIRAGE, CHAUFFAGE, SONNERIES

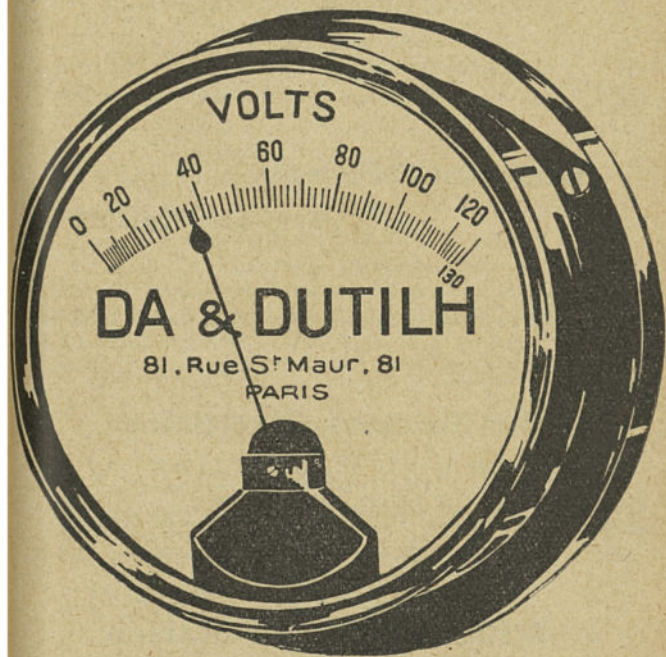
:: :: TABLEAUX INDICATEURS :: ::

PAR **P. MAURER**

INGÉNIEUR-ÉLECTRICIEN (E.S.E.)

1922, 1 vol. in-18 de 274 pages, avec 147 figures, cartonné (*Bibliothèque Professionnelle*).... 8 fr.

Ajouter 10 0/0 pour port et frais d'emballage



Librairie J.-B. BAILLIÈRE & FILS, 19, rue Hautefeuille, Paris

Précis d'Électricité Industrielle

Par R. BUSQUET

Ingénieur en Chef de l'Éclairage de la Ville de Lyon

et E. MAREC

Ancien Chef de Travaux à l'École supérieure d'Électricité de Paris

1919, 2 vol. in-8 de 879 pages, avec 669 figures..... 24 fr.

Formulaire aide-mémoire de l'Électricien Praticien

Par E. MAREC

Ancien Chef de Travaux à l'École supérieure d'Électricité de Paris

1920, 1 vol. in-18 de 466 pages avec 348 figures et tableaux.

Prix..... 12 fr.

Le Monteur Électricien

Par BARNI et MONTPELLIER

5^e édition, par E. MAREC

Ancien Chef de Travaux à l'École Supérieure d'Électricité de Paris

1920, 1 vol. in-16 de 576 pages avec 350 figures..... 15 fr.

L'Électricité à la Maison

Par E. MAREC

Ingénieur Electricien

Directeur de Station Centrale d'Électricité

1918, 1 vol. in-18 de 352 pages avec 323 figures... 7 fr. 50

Ajouter 10 p. 100 pour port et frais d'emballage

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Librairie J.-B. BAILLIÈRE & FILS, 19, rue Hautefeuille, Paris

Dictionnaire de l'Industrie

Matières premières. Machines et Appareils. Méthodes de Fabrication, Procédés Mécaniques. Opérations chimiques. Produits manufacturés

Par JULIEN LEFÈVRE

Agrégé des Sciences Physiques
Professeur au Lycée et à l'École des Sciences de Nantes

1899, 1 vol. gr. in-8 de 924 pages à 2 colonnes, avec 817 fig.
Broché 30 fr.
Relié..... 45 fr.

Dictionnaire d'Électricité

comprenant les Applications aux Sciences, aux Arts et à l'Industrie

Par JULIEN LEFÈVRE

Introduction par M. BOUTY

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris

2^e édition, 1896, 1 vol. gr. in-8 de 1.160 pages à 2 colonnes,
avec 1.285 figures; broché..... 30 fr.
Relié..... 45 fr.

Hydraulique Générale et Appliquée

Par D. EYDOUX

Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées

1921, 1 vol. in-8 de 510 pages, avec 212 fig.; broché. 40 fr.
Relié..... 50 fr.

Hydraulique Industrielle et Usines Hydrauliques

Par D. EYDOUX

Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées

1921, 1 vol. in-8 de 540 pages, avec 312 fig.; broché. 40 fr.
Relié 50 fr.

Ajouter 10 p. 100 pour port et frais d'emballage

Essais des Machines Électriques

Par M. GUILBERT

Sous-Directeur de l'École Supérieure d'Électricité

1922, 1 vol. in-8, de 500 pages, avec 260 figures.

Broché 40 fr.

Relié 50 fr.

(*Encyclopédie d'Électricité Industrielle* publiée sous la direction de M. BLONDEL, Membre de l'Institut).

Les Accumulateurs et les Piles Électriques

Par J.-A. MONTPELLIER

1906, 1 vol. in-18 de 305 pages, avec 130 figures..... 10 fr.

Précis de Physique et d'Électricité Industrielles

Par H. PÉCHEUX

Sous-Directeur de l'École d'Arts et Métiers de Lille

2^e édition, 1922, 1 vol. in-16 de 534 pages, avec 385 figures.

Prix..... 15 fr.

Électricité Agricole

Par A. PETIT

Ingénieur Agronome et Ingénieur Electricien

4^e édition, 1920, 1 vol. in-18 de 500 pages, avec 96 figures.

Prix..... 10 fr.

Ajouter 10 p. 100 pour port et frais d'emballage.

Bibliothèque Professionnelle

Publiée sous la direction de M. RENÉ DHOMMÉE

INSPECTEUR GÉNÉRAL ADJ^t DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

120 volumes in-18 rais. (10,5 × 16,5) de 300 à 400 pages
avec nombreux dessins.

Chaque volume se vend séparément de 6 à 10 francs cartonné.



Donner à chacun (apprenti, ouvrier, contremaître, employé) le moyen commode, sûr, d'acquérir les *connaissances pratiques*, les *tours de main* qui rendront son travail plus intéressant et plus rémunérateur, cela avec d'abondantes illustrations, sous une forme claire, en peu de mots, grâce à l'enseignement des *spécialistes* les plus autorisés, tel est le but de la *Bibliothèque professionnelle*.

Conçus dans un esprit essentiellement *pratique* (étude des matériaux, des produits et de l'outillage; explication raisonnée des procédés de travail les *meilleurs* et les plus *modernes*), pouvant facilement être mis à la poche, d'un prix très modéré, les *Manuels* de la Bibliothèque professionnelle constitueront le guide indispensable de tout travailleur intelligent et avisé. C'est dire qu'ils seront, aussitôt parus, dans toutes les mains.

Librairie J.-B. BAILLIÈRE et FILS

PARIS — 19, rue Hautefeuille — PARIS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Bibliothèque Professionnelle

Publiée sous la direction de M. RENÉ DHOMMÉE

INSPECTEUR GÉNÉRAL ADJ^t DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

*120 volumes in-18 rais. (10,5 × 16,5) de 300 à 400 pages
avec nombreux dessins.*

Chaque volume se vend séparément de 6 à 10 francs cartonné.

Tous les ouvriers intelligents, à quelque métier qu'ils appartiennent, peuvent constater chaque jour qu'il leur manque le premier et le plus indispensable des outils, celui qui apprend à manier tous les autres, le seul qui ne soit pas un serviteur inerte, mais au contraire et tout ensemble un maître accompli, un guide éprouvé, un conseiller fidèle et désintéressé. Cet outil, c'est le *livre*. Vous le chercherez en vain, à l'heure actuelle, chez le maréchal-ferrant, chez le maçon ou le menuisier du village. A la ville même, chez la plupart des petits patrons ou des contre-maitres, il est rare, sinon introuvable.

Cette lourde faute n'est nullement imputable à nos travailleurs, car ils aimeraient à lire et à relire des livres faits pour eux, à leur mesure, et écrits dans leur langue. On n'y a pas songé; non pas évidemment que nous manquions de grands savants ni d'éminents professeurs, mais leurs gros livres sont inabordables et inintelligibles pour les travailleurs manuels. L'ouvrier, l'employé le mieux doué n'est condamné que trop souvent à devenir un manœuvre routinier ou un rouage inconscient: on le confine dans un travail jalousement spécialisé, on lui interdit toute initiative, on tue en lui le goût du travail bien compris, bien vu d'ensemble, et du même coup on tarit pour lui toute source de profit légitime et rémunérateur.

Il n'y a que deux remèdes, et l'on a trop tardé à les employer: c'est le cours professionnel, et c'est le livre professionnel. D'ailleurs, ils se confondent et se complètent, car le cours est en

somme un livre récité et expliqué à haute voix par un maître, et le livre est un cours écrit.

L'enseignement professionnel est en voie d'organisation ; mais son installation demandera beaucoup de temps et d'argent. C'est seulement une infime minorité parmi nos travailleurs qui pourra en bénéficier dans les grandes villes. Ses bienfaits ne pourront pas, d'ici longtemps, parvenir jusqu'au grand peuple des ouvriers déjà vieillis dans le métier et disséminés de tous côtés au fond de nos provinces.

Pour eux, il n'y a qu'un recours : le *livre*, le livre bien fait, qu'on a toujours sous la main, qui est toujours prêt à répondre, qui a prévu toutes les difficultés et sait les résoudre, d'une façon claire, le livre abondamment illustré qui montre le maniement de chaque outil, expose les *tours de main*, le livre qui joint à un savoir solide le savoir-faire qui est tout aussi indispensable.

C'est le *livre* que la Bibliothèque professionnelle offre à tous les travailleurs.

Chacun des 120 volumes qui composent cette Encyclopédie du travail national a été écrit par un spécialiste. Mais ce spécialiste ne s'est pas borné à travailler dans son cabinet et sur les livres : il s'honore d'avoir pratiqué lui-même et pendant de longues années le travail qu'il enseigne maintenant à ses jeunes camarades. Les ingénieurs, les chefs d'atelier, les professeurs qui ont mis dans ces petits livres le meilleur de leur expérience ont manié les outils dont ils parlent ; ils ont eux-mêmes frappé sur l'enclume, charpenté ou menuisé le bois, ajusté des pièces ou conduit des machines. Quels que soient leurs titres, le nom qui leur convient le mieux, c'est encore celui de « maître-ouvrier ».

Avec eux, grâce à eux, et comme eux, tout ouvrier, tout employé peut devenir, lui aussi, un *maître* dans sa partie. La plus belle récompense des auteurs de la Bibliothèque professionnelle sera justement d'avoir ouvert les portes de la maîtrise à tous ceux qui voudront s'en rendre dignes.

RENÉ DHOMMÉE,
*Inspecteur général adj^t de l'Enseignement
technique.*

Bibliothèque Professionnelle

Publiée sous la direction de M. RENÉ DHOMMÉE

INSPECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

Avec la collaboration des spécialistes les plus compétents:

MM. MAURER, CURCHOD, prof. à l'Éc. d'élec. et de méc. ind. de Paris. — LAGARDELLE et VINCENT, chef des travaux aux Éc. prat. de Châlons et d'Agen. — GODEAU, GASCHET et BIGERELLE, dir. des Écoles prof. de Chartres, de Marmande et d'Auxerre. — VADCLIN et LONG, dir. des frigos du Havre. — HAMM et GUILVERT, dir. et prof. aux Éc. décorat. de la Gironde et de Melun. — LEROUX et DUCHESNE, dir. de l'Éc. de vannerie de Fayl-Billot. — FERRAND, de la dir. de l'Urbaine-Seine. — ANGÉ, prof. Éc. sup. de Comm. de Paris. — ROBLIN, prof. à l'Éc. prof. du papier, etc., etc.

120 vol. in-18 raisin de 300 à 400 pages avec nombreux dessins.
Chaque volume se vend séparément de 6 à 10 francs, cartonné.

I. — MANUELS DE L'ALIMENTATION

*Boulangerie, pâtisserie, biscuiterie.
Loucherie.
Charcuterie, équarrissage.
Brasserie.
Confiserie, chocolaterie.
Cuisine.
Épicerie.*

*Industrie et comptabilité hôteliers.
Crèmerie (Lait, beurre, fromage).
Meunerie.
Conserves de viandes, salaisons.
Conserves de fruits et de légumes.
Sucrerie. Distillerie, liqueurs.
Vins, cidres, poirés, eaux gazeuses.*

II. — MANUELS DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

*Architecture.
Charpente en bois.
Charpente en fer.
Ciment, ciment armé.
Fumisterie, chauffage, ventilation.
Maçonnerie, ravalement.
Menuiserie, parquetage, treillage.
Métrage et vérification, arpentage.
Modelage, plafond, stuc.*

*Pavage, carrelage, mosaïque.
Peinture en bâtim., vitrerie, pap. peints.
Travaux publics (2 vol.).
Peinture en décors, filage, lettres.
Plomberie, installations hygiéniques,
zinguerie, couverture.
Serrurerie, fer forgé.
Taille des pierres, marbrerie.
Cantonnier.*

III. — MANUELS DES INDUSTRIES TEXTILES, DU VÊTEMENT ET DE LA MODE

*Bonneterie.
Broderie mécanique, tulle, dentelle méc.
Dessin pour tissus, lecture, pig. du dessin.
Corderie, filet à la main, filet mécanique.
Filature. Tissage.
L'assémenterie, lacet, rubanerie.
Blanchissage, repassage.
Chapellerie en feutre, paille, soie. Modes.
Chemiserie, lingerie.*

*Coiffure.
Coupe, confection pour hommes.
Couture.
Coupe, confection pour femmes.
Dentelle et broderie à la main.
Fleurs e plumes.
Mercerie.
Pelletterie, fourrures.*

IV. — MANUELS DES INDUSTRIES D'ART

*Bijouterie, joaillerie, orfèvrerie.
Boutonnerie, peignes.
Bronzes d'art.
Dessin d'ornement, composition décorative.
Dessin industriel.
Décoration du cuir, peinture sur étoffes.*

*Pyrogravure, enluminure. Peinture au
pochoir, Cuivre et étain repoussés.
Gravure, ciselure, décor. des métaux.
Lutherie, pianos, orgues, accord.
Instruments d'optique.
Jouets.*

BIBLIOTHÈQUE PROFESSIONNELLE

V. — MANUELS DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DU LIVRE

<p><i>Cartonnage.</i> <i>Commis papetier.</i> <i>Imprimerie, typographie, clichage.</i> <i>Lithographie.</i></p>	<p><i>Gravure, héliogravure, photogravure,</i> <i>Photographie.</i> <i>Reliure.</i> <i>Industrie du papier.</i></p>
---	--

VI. — MANUELS DES INDUSTRIES DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT

<p><i>Abatage des bois, sciage, cubage, sabots.</i> <i>Balais, brosses, soufflets, cannes, emball.</i> <i>Carrosserie, charron, peint, voit.</i> <i>Ebénisterie, dorure, laque, marqueterie.</i> <i>Industrie du liège.</i></p>	<p><i>Moulures. Encadrement.</i> <i>Tapissier décorateur.</i> <i>Tournage du bois, sculpture sur bois.</i> <i>Tonnellerie, boissellerie.</i> <i>Vannerie.</i></p>
---	---

VII. — MANUELS DES INDUSTRIES CHIMIQUES, CÉRAMIQUE, etc.

<p><i>Porcelains. Briques, tuiles, produits réfractaires. Faïences (3 vol.)</i> <i>Couleurs et vernis.</i> <i>Encres, cirages, colles.</i> <i>Droguerie, herboristerie.</i> <i>Fabrication des produits chimiques</i></p>	<p><i>Industrie du gaz, appareillages.</i> <i>Parfumerie.</i> <i>Teinturerie, apprêtage.</i> <i>Verrerie, cristal., miroit., grav. sur verre.</i> <i>Poudres et explosifs.</i></p>
---	--

VIII. — MANUELS DES CUIRS ET PEAUX, DU CAOUTCHOUC

<p><i>Bourellerie, sellerie.</i> <i>Caoutchouc, gutta-percha, gomme factice.</i> <i>Chamoiserie, maroquinerie, gainerie.</i></p>	<p><i>Ganterie.</i> <i>Cordonnerie.</i> <i>Tannage, mégisserie, corroyage.</i></p>
--	--

IX. — MANUELS DE MÉCANIQUE

<p><i>Ajustage (3 volumes).</i> <i>Armurerie.</i> <i>Automobiles (2 vol.): a) Construction, différents types; b) conduite, entretien.</i> <i>Machines (2 vol.): a) Description; b) Conduite, entretien et montage.</i> <i>Machines marines. Constructions navales.</i> <i>Chaudronnerie.</i></p>	<p><i>Chemins de fer (2 volumes).</i> <i>Cycles, motocyclettes.</i> <i>Constructions aéronautiques.</i> <i>Horlogerie.</i> <i>Instruments de chirurgie, orthopédis.</i> <i>Mécanicien frigoriste.</i> <i>Mécanique et tournage de précision.</i></p>
---	--

X. — MANUELS D'ÉLECTRICITÉ

<p><i>Électrolyse, galvanoplastie, jurs et c- trique.</i> <i>Installations électriques particulières.</i> <i>Installations électriques industrielles.</i> <i>Moteurs électriques. Traction électrique.</i></p>	<p><i>Dynamos, alternateurs. Stations centrales, transport d'énergie.</i> <i>Construction de réseaux d'énergie.</i> <i>Télégraphie, téléphonie, ord. et sans.</i> <i>Appareils de mesures électriques.</i></p>
---	---

XI. — MANUELS DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

<p><i>Acéries.</i> <i>Carrières, ardoisières, plâtrières.</i> <i>Coutellerie, taillanderie.</i> <i>Fabrique d'aiguilles, épingles, plumes.</i> <i>Ferblanterie, lampisterie, potlerie.</i> <i>Forgeron.</i> <i>Prospection.</i></p>	<p><i>Forges.</i> <i>Usines journeaux et fonderies.</i> <i>Maréchalerie, machines agricoles.</i> <i>Mineur.</i> <i>Modèlerie.</i> <i>Quincaillerie, clouterie, tréfileries.</i></p>
---	--

XII. — MANUELS DES PROFESSIONS COMMERCIALES

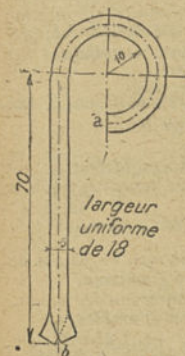
<p><i>Assurances.</i> <i>Administration commerciale moderne.</i> <i>Banque.</i> <i>Commission et portation.</i></p>	<p><i>Vente et représentation commerciale.</i> <i>Publicité commerciale.</i> <i>Travaux (eau, bois de terre, fer et air).</i></p>
--	---

Spécimen du texte et des gravures
du Manuel du Forgeron

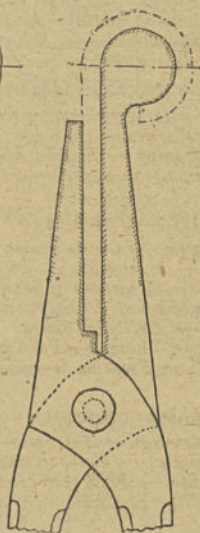
TRAVAUX DEMANDÉS AU FORGERON. 57

sions appropriées et par pression *rabat* la partie *c* (fig. D).

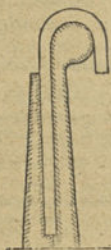
4° Tous les crampons étant ainsi préparés, il ne



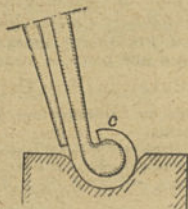
A. Crampon
à exécuter.



B. Tenaille



C. Repli
sur épaulement.



D. Travail sur dessous
d'étampe.

EXÉCUTION A LA MAIN D'UNE SÉRIE DE CRAMPONS.

reste plus qu'à pratiquer une *entaille* soit à chaud, soit à froid à l'extrémité libre, puis à *rejeter* d'un coup de *IRIS* LILLAD Université Lille 1 obtenues de part et d'autre de l'axe.

MANUEL DU FORGERON

Par M. LAGARDELLE, chef d'at. Éc. nat. A. et M. de Châlons.

1 vol. in-18 de 420 pages avec 253 figures. Cartonné..... 10 fr.

CHAPITRE I. — La Forge.

But. — Forges diverses. — Bâti de forge métallique. — Différentes sortes de tuyères. — Soufflets. — Ventilateurs. — Aspirateurs de jumée. — Accessoires de la forge. Allumage, conduite et entretien du feu. — Position de la pièce à chauffer dans le feu. — Appréciation des différentes températures. — Nature et qualités des combustibles à employer à la forge. Forges portatives.

CHAPITRE II. — Le forgeage (généralités).

Matières premières employées à la forge : Fer et ses dérivés. Règles de forgeage du fer et des aciers au carbone. Recuit des pièces forgées. — Trempe. — Revenu après la trempe. — Exemples de trempe. — Cémentation. — Différents genres de travaux demandés au forgeron.

CHAPITRE III. — L'outillage.

Outillage mobile. — Marteaux. — Outils tranchants. — Outils de chassage; — de perçage; — de rivetage; — d'étampage; — de torsion; — de gabariage. — Outils servant au maniement des pièces. Outillage fixe. — Enclume, accessoires. Description et emploi. Outillage de vérification. — Calibres divers. — Gabarits. — Equerres. — Pied à coulisse. — Niveau. — Fil à plomb. — Marbre. — Trusquin. — Cales en V. — Exemple de montage pour vérification d'une pièce de forge.

CHAPITRE IV. — Principales opérations de forgeage.

Etirage. — Chassage. — Mandrinage. — Perçage. — Coudes et épaulements. — Torsion. — Rivetage. — Emboutissage. — Soudures. — Brasage et soudures diverses. — Principes généraux sur le choix des échantillons, sur l'équivalence du poids ou volumes. — Tenue du forgeron et du frappeur.

CHAPITRE V. — Application des principes de forgeage.

Assouplissement de la main. — Emploi du marteau seul. — Transformation d'une section carrée en section rectangulaire. — Emploi des marteaux pour l'ébauchage et des outils appropriés pour le finissage. Fabrication des différentes pièces : Prisme à base carrée de 25 × 25 × 200. — Cubes : Clavettes, Tournevis, Ecrous. — Boulons. — Pitons. — Rivetage, emboutissage. — Modification des formes par refroidissement, etc.

CHAPITRE VI. — Organisation de l'atelier.

Etablissement d'un atelier de forge. — Conseils sur l'organisation d'un petit atelier de forge. — Essais à chaud et à froid sur les fers et aciers.

Spécimen du texte et des gravures
du Manuel de Menuiserie

ASSEMBLAGES EN BOIS DE TRAVERS. 141

8° ASSEMBLER. — Pour assembler on abat légèrement les arêtes du bout du tenon pour faciliter son entrée et, après montage, on recale l'extrémité qui dépasse au rabot.

Un bon assemblage à tenon et à mortaise doit être



Fig. 155 bis. — Exécution d'une mortaise.

juste dans le sens de l'épaisseur; s'il force, il tend à faire éclater le bois qui a peu de résistance dans cette direction; il peut forcer légèrement dans le sens de la largeur; c'est précisément le sens dans lequel il *travaille* ordinairement.

Assemblage à tenon et mortaise à épaulement (fig. 156). — Lorsque le tenon se trouve à l'extrémité d'un battant, il ne prend pas toute la largeur de la traverse, environ les deux tiers de cette largeur, la partie en dehors qui s'appuie simplement sur le ba-

MANUEL DE MENUISERIE

Parquetage-Treillage

Par M. GODEAU, dir. des Cours prof. municip. de Chartres.

1 vol. in-18 de 300 pages, avec 368 figures. Cartonné 10 fr.

CHAPITRE I. — Bois employés en menuiserie.

Développement et structure des bois. Age des bois.

Propriétés des bois. Hygrométrie, dessiccation, retrait, gauchissement et gerçures. Qualités et défauts, élasticité, ténacité, dureté.

Débit des bois. — Méthodes, débit et qualité.

Conservation des bois. — Epoque d'abatage.

Classification des bois industriels : résineux, tendres, durs, de placage.

CHAPITRE II. — L'outillage.

Outillage à main. — Outils de maintien ; — à débiter ; — à corroyer ; — à profiler ; — à creuser ; — à percer ; — à mesurer et à tracer.

Outillage mécanique. — Scie à découper ; — à ruban, circulaire, affûtage. — Machines à raboter ; — à faire des tenons. Mortaiseuse. — Toupie. — Dangers des machines. Appareils de protection.

CHAPITRE III. — Premières notions sur l'assemblage.

Principales conventions du dessin de menuiserie. — Tracés usuels.

Choix des bois. Débit. — Corroyage, son importance. — Assemblages.

Qualités générales : Assemblage en bois de fil, de travers, de bout ou entures.

Petits travaux simples de menuiserie.

Moulures. — Tracé et raccord des moulures. Art de moulurer.

CHAP. IV. — Menuiserie du bâtiment. — Construction, pose.

Menuiserie pleine à bois debout : portes, volets, cloires-voies, barrières.

Menuiserie à châssis : huisseries, portes et lambris, croisées, volets et persiennes, etc.

Parquetages à l'anglaise, à coupe de pierre, à bâtons rompus, à point de Hongrie, à points chevauchés, en mosaïque. Pose des lambourdes et parquets.

Corniches et frontons. — Tracé et construction.

CHAPITRE V. — Menuiserie à fausses coupes.

Notions géométriques indispensables pour l'exécution des épures.

Arêtiers sur plan carré et plan rectangulaire.

Applications diverses : Auges, pétrins, trémies, marchepieds, etc.

CHAPITRE VI. — Escaliers. — Arêtiers.

Escaliers : Notions géométriques. — Différentes parties. Calcul.

Epure. — Principaux types : Balancement. — Plafonds d'escaliers.

Arêtiers cintrés : Portes et persiennes cintrées en plan et élévation. — Voussures diverses.

CHAPITRE VII. — Notions sur les styles en menuiserie.

CHAPITRE VIII. — Construction et pose des treillages.

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

INSTALLATIONS PARTICULIÈRES

Éclairage, Chauffage, Sonneries, Tableaux indicateurs.

Par P. MAURER, prof. à l'Éc. de Méc. Industrielle.

1 vol. in-18 de 274 pages avec 147 figures, cartonné, 8 fr.

CHAPITRE I. — Distribution de l'énergie électrique.

Systèmes de distribution. — Distributions directes ; — indirectes.

Canalisations souterraines ; — aériennes.

Branchements. — Branchements sur canalisations souterraines
— aériennes ; — à haute tension ; — collectives.

CHAPITRE II. — Généralités.

Dérivations. — Distributions à plusieurs fils.

Compteurs. — Tarification. — Types de compteurs.

Circuits d'éclairage. — Circuits groupés ; — dispersés. — Division des circuits sur les réseaux à fils multiples.

Schémas d'installation de lampes à incandescence.

Isolement d'une installation. — 1. L'installation est en service ; — 2. n'est pas en service.

Nature des lampes. — Lampes à incandescence ; — à filament de carbone ; filament métallique ; — à atmosphère d'azote.

Lampes à arc. — Arc à air libre ; — en vase clos. — Régulateurs.
— Installation et résistance de réglage.

Lampes spéciales. — Tube de Moore. — Lampe à vapeur de mercure ; — à tube de quartz.

Nature et répartition des foyers lumineux. — Influence des parois ; — de la couleur de la lumière ; — de l'appareillage de la lampe. — Éclairage par arc ; — intérieur.

Conducteurs. — Résistance mécanique. — Échauffement. — Calcul.

Exemples d'installation. — 1. Projet d'installation d'une fonderie ; — 2. d'un appartement. *Devis.*

CHAPITRE III. — Exécution des installations.

Montages en fils apparents. — sur poulies ; — sur serre-fils ; — sur cloches. — *Épissures.* — *Isolateurs d'arrêt.* — *Montages fils souples ; — sous moulures, etc.* — *Pose.* — *Montages avec conducteurs sous plomb.* — *Traversée des murs et des planchers.*

— *Passage des plafonds.* — *Fixation des appareils sur les murs.* — *Installations des interrupteurs et commutateurs, etc.*

Montages des lampes. — Lampes fixées directement au plafond ; — suspendues fixes ; — suspendues mobiles, etc.

Lustres. — Lustres équipés ; — non équipés ; mixtes.

Lampes appliquées au mur. — *Éclairage des ateliers ; — des vitrines.* — *Illuminations.* — *Enseignes lumineuses.*

CHAPITRE IV. — Chauffage électrique

Production de la chaleur. — *Procédés et appareils pratiques.*

Détermination de la puissance d'un radiateur.

CHAPITRE V. — Sonneries et tableaux indicateurs.

Sonnerie à trembleur. — à mouvement d'horlogerie, etc. — *Schéma de montage.*

Tableaux indicateurs. — *Générateurs d'énergie.*

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

STATIONS CENTRALES

Dynamos, Alternateurs, Transports d'énergie.

Par A. CURCHOD,

Professeur à l'École de mécanique et d'électricité Industrielle.

1 vol. in-18 de 328 pages avec 114 figures, cartonné.... 8 fr.

CHAPITRE I. — Électricité et magnétisme.

A. — *Corps conducteurs et corps isolants.* — Circuit électrique.

B. — *Grandeurs électriques et unités.* — Différence de potentiel et force électromotrice. — Quantité d'électricité et intensité du courant. — Résistance. — Puissance. — Unités.

C. — *Magnétisme et électromagnétisme.* — Des aimants. — Champ magnétique. — Electromagnétisme. — Induction électromagnétique. — Appareils de mesures électriques.

CHAPITRE II. — Description d'une station centrale.

CHAPITRE III. — Des dynamos et alternateurs.

Principe des dynamos et alternateurs. — Du champ magnétique inducteur. — Courant continu ; — alternatif. — Comparaison du courant continu et du courant alternatif.

CHAPITRE IV. — Construction des dynamos.

CHAPITRE V. — Du fonctionnement des dynamos.

Généralités — Les inducteurs. — Induit. — Collecteur et balais. Éclincelles aux balais et décalage des balais. — Excitation des dynamos. — Réglage de la tension. — Amorcement ; Couplage ; Défauts de fonctionnement des dynamos.

CHAPITRE VI. — Construction des alternateurs.

Généralités. — Inducteur (rotor). — Induit (stator).

CHAPITRE VII. — Fonctionnement des alternateurs.

Vitesse. — Couplage des alternateurs. — Défauts de fonctionnements des alternateurs.

CHAPITRE VIII. — Accumulateurs.

Définition et fonctionnement. — Divers modes de charge d'une batterie. — Du rôle d'une batterie. — Entretien d'une batterie.

CHAPITRE IX. — Des transformateurs.

Transformateurs statiques, rotatifs.

CHAPITRE X. — Tableau de distribution.

A. — *Appareillage.* — Appareils de commande ; de réglage ; de protection.

B. — *Tableaux de distribution.* — Installations à basse tension (courant continu) ; — à haute tension (courant alternatif).

CHAPITRE XI. — Canalisations électriques.

Transport et distribution de l'énergie. — Canalisations souterraines.

CHAPITRE XII. — Postes de transformation et sous-stations

Conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie.

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES INDUSTRIELLES

I

CHOIX DU MATÉRIEL, DES SYSTÈMES DE DISTRIBUTION ET DES PROCÉDÉS D'INSTALLATION

par M. René CABAUD, ingénieur E. C. L. et E. S. E.

1 vol. in-18 de 300 pages avec figures, cartonné. 8 fr.

CHOIX DU MATÉRIEL

- I. **Études des facteurs à considérer.** — Classification des machines. — Fréquence et nombre de phases des machines à courant alternatif. — Tension. — Couple, puissance, intensité et facteur de puissance. — Vitesse. — Genre de service, échauffement, mode de refroidissement et de protection. — Rendement, consommation à vide. — Rigidité diélectrique des isolants. — Détails mécaniques.

CHOIX DES SYSTÈMES DE DISTRIBUTION

- II. **Garanties à imposer aux constructeurs.** — Dynamo et moteur à courant continu. — Alternateur et moteur synchrone. — Moteur asynchrone. — Moteur à collecteur. — Choix à faire. — Transformateur statique. — Commutatrice. — Groupes convertisseurs. — Choix à faire.
- III. **Caractéristiques utiles pour le choix de l'appareillage électrique.** — Données générales. — Appareils de connexion, de déconnexion et d'interruption ; — de réglage ; — de protection ; — de mesure. — Accumulateurs. — Appareillage d'éclairage. — Matériel de lignes.
- IV. **Principes généraux de l'organisation d'une installation.** — Choix du genre de courant. — Principe de l'indépendance des circuits. — Répartition des appareils récepteurs. — Organisation de la protection des lignes et Équipement des moteurs ; — des postes de transformation et tableaux de distribution. — Force motrice sur les différents moteurs. Transmissions et commande individuelle. Détermination de la puissance. — Facteur de puissance. — Installations de lumière. — Centrales pour installations autonomes et centrales de secours.
- V. — **Exemples d'installations électriques d'usines.**

PROCÉDÉS D'INSTALLATION

- VI. **Canalisation.** — Mode de pose. — Installations sur poulies ; — sous moulures ; — sous tubes ; — sous plomb ; — en câble sur gros isolateurs porcelaine ; — en câble armé non enterré. — Mise en service d'une ligne. — Travaux divers.
- VII. **Installations de tableaux, de cabines, etc.** — Tableaux de distribution. — Installations de moteurs. — Postes de transformateurs.

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES INDUSTRIELLES

II

ENTRETIEN ET CONTROLE

Par M. René CABAUD, ingénieur E. S. E.

1 vol. in-18 de 300 pages avec figures, cartonné. 8 fr.

ENTRETIEN

- I. **Nécessité et organisation d'un service d'entretien des installations électriques.** — Nécessité d'un service d'entretien électrique. — Rôle du service d'entretien. — Personnel. — Outillage. — Archives et documents.
- II. **Les consignes générales du service d'entretien.** — Consignes journalières ; — hebdomadaires ; — mensuelles ; — annuelles. — Conclusion.
- III. **Enroulements et bobinage.** — Rappel de notions générales sur les enroulements des machines. — Réalisation matérielle des enroulements. — Exécution de réparations de bobinage. — Bobinages d'inducteurs à courant continu.

CONTROLE

- IV. **Nécessité et organisation d'un service de contrôle des installations électriques.** — Utilité d'un service de contrôle. — Un service de contrôle doit-il être formé de personnel appartenant à l'usine ou doit-il être indépendant. — Personnel d'un service de contrôle. — Matériel d'un service de contrôle. — Rôle du service de contrôle.
- V. **Les essais de contrôle.** — Emploi des appareils de contrôle. — Recherche des défauts dans les bobinages des machines ; — des défauts dans les lignes. — Essais de consommation des moteurs ; — d'échauffement en service normal. — Étude de la consommation totale de l'usine. — Essais de groupes thermiques en service. — Vérifications de compteurs. — Étalonnage des appareils de mesure. — Essais de réception. — Vérification des sections des lignes. — Étude sommaire des principales causes de mauvais fonctionnement des machines.
- VI. **Étude de questions relatives à la tarification.** — Tarification à forfait. — Tarif proportionnel au compteur d'énergie ; — avec prime fixe ; — à dépassement ; — avec majoration pour déphasage. — Majorations dues aux variations économiques. — Tarifs multiples. — Vente en haute et basse tension. — Tarification éclairage. — Prix de revient final de l'énergie livrée aux contrats.

MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN

CONSTRUCTIONS DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

Par M. DAVAL, Ingénieur E. S. E.

1 vol. in-18 de 288 pages, avec 180 figures, cartonné... 8 fr.

CHAPITRE I. — Différents genres de distribution.

Généralités. — Distributions directes et indirectes, haute et basse tension.

CHAPITRE II. — Distribution directe.

Courant continu et alternatif ; — continu, réseaux à 2, 3, 5 fils.

CHAPITRE III. — Distribution indirecte.

Courant alternatif monophasé et diphasé ; — alternatif triphasé ; — alternatif haute tension. — Postes de transformation. — Sous-stations. — Distribution série.

CHAPITRE IV. — Règlements relatifs à la construction des réseaux d'énergie.

Règlements : 1^o Lois et arrêtés. — 2^o Organisation administrative des réseaux de distribution.

CHAPITRE V. — Lignes aériennes.

Conducteurs. — Isolateurs (types courants). — Ferrures d'isolateurs. — Supports. — Poteaux métalliques. — Consoles et Potelets. — Pylônes pour lignes à haute tension ; — en béton armé. — Lignes catenaires. — Appareils de coupure des lignes à haute tension. — Essais des isolateurs.

CHAPITRE VI. — Canalisations souterraines.

Câbles armés. — Boîtes et accessoires.

CHAPITRE VII. — Postes de transformation et de sectionnement.

Généralités. — Appareils de coupure ; — de protection et appareils de mesure. — Transformateurs.

CHAPITRE VIII. — Montage et entretien des lignes aériennes.

Montage des supports ; — et remplacement des isolateurs. — Embranchement d'abonnés.

CHAPITRE IX. — Montage et entretien des canalisations souterraines.

Pose et entretien des câbles armés. — Exécution des boîtes souterraines et branchements d'abonnés.

CHAPITRE X. — Montage et entretien des postes.

Entrées de postes. — Appareils de coupure et de contrôle. — Montage des appareils de protection. — Entretien des transformateurs.

MANUEL du MÉCANICIEN FRIGORISTE

Par L. VAUCLIN, directeur et A. LONG, chef mécanicien
des Frigorifiques de l'Alimentation Havraise.

1 vol. in-18 de 276 pages, avec 33 figures, cartonné 8 fr.

CHAPITRE I. — Notions générales de physique.

Pesanteur. — Systèmes de mesures. — Unités électromagnétiques ; — et valeurs importantes. — Notions de mécanique. — Force. — Énergie. — Hydrostatique. — Mouvement de l'eau. — Chaleur. — Dilatation des solides ; — des liquides ; — des gaz. — Hygrométrie.

CHAPITRE II. — Machines à froid. Classification.

Machines à absorption ou à affinité ; — à vaporisation par le vide ; — à compression. — *La machine frigorifique à compression.* — Puissance frigorifique et rendement. — Le compresseur. — Le liquéfacteur. — Le réfrigérant ou évaporateur. — Disposition générale d'une installation. — Généralités sur le montage, la marche et le réglage des machines à compression. — Essais de la machine à l'air comprimé. Chasses d'air. Nettoyage des soupapes. — Vide dans la machine. — Remplissage de la machine. — Généralités sur la mise en marche et arrêt des machines. — Encrassement et nettoyage des serpentins du condenseur (liquéfaction) ; — des serpentins du réfrigérant (évaporateur). — Obstruction des appareils. — Joints inétanches. — Serrage régulier des joints. — Appareils respiratoires ; — de mesure.

CHAPITRE III. — Applications.

Applications des isolants ; — du froid industriel. — Fabrication de la glace. — La conservation de la viande et les frigorifiques d'abattoirs. — La conservation du poisson et les frigorifiques de pêche ; — Conservation du lait. — Fabrication du beurre. — Chaleurs spécifiques des denrées alimentaires. — Transports. Wagons et trains frigorifiques. — Conservation des œufs ; — des fruits ; — d'étoffes, tentures, fourrures. — Le froid dans les industries de fermentation. — Applications diverses ; — du froid en chimie ; — du froid en physique,

MANUEL DE SCULPTURE SUR BOIS

Par H. GASCHET,
Directeur de l'Éc. Prat. de Commerce de Marmande.

1 vol. in-18 de 208 pages, avec 275 figures, cartonné... 6 fr.

- I. Sculpture sur bois. — II. Les sources d'inspiration. — III. Tracés géométriques. — Tracé des moulures. Moulures. — IV. Ornementation des moulures. — V. Ornementation des surfaces planes et courbes. — VI. Étude des bois. — *Bois indigènes.* — *Bois exotiques.* — VII. Outils et procédés de fixation. — VIII. Outillage de sculpteur sur bois. — IX. Procédés de sculpture sur bois. — X. Machines à sculpter. — XI. Les styles. — XII. Exercice de sculpture.
-

MANUEL DE TOURNAGE DU BOIS

Par H. GASCHET.

1 vol. in-18 de 240 pages, avec 301 figures, cartonné... 8 fr.

- I. Dessin et tracés. Instruments de dessin ; — de traçage. — II. Tracés géométriques. Angles. — Tracé des tangents. — Inscription de polygones. — Ellipse. — Parabole. — Hélice. — III. Raccordements et moulures. — IV. Corps ronds. — V. Étude des bois. — VI. Les outils pour le tournage du bois. 1. Outils pour tours à pointes. — 2. Outils pour le tour en l'air. — VII. Outils auxiliaires. — Assemblages courants. — VIII. Appareils à meuler et à affuter les outils. — IX. Préparation des bois de tournage. — X. Description de quelques tours et organes de tours. — XI. Procédés de montage et d'entraînement. Mandrins. — XII. Procédés d'exécution. — XIII. Tours spéciaux et tours automatiques. — XIV. Finition mécanique. — XV. Exercices gradués de tournage.

MANUEL DU PEINTRE

I

COULEURS ET VERNIS

Par Ch. COFFIGNIER, ingénieur E. P. C. P.

1 vol. in-18 de 350 pages avec 31 figures, cartonné.... 8 fr.

PREMIÈRE PARTIE

COULEURS

- I. Généralités. — II. Laques. — III. Charges. Blanc de baryte ; — de Meudon ; — de silice — minéral. — Kaolin. — Talc. — IV. Couleurs blanches. Blanc d'antimoine ; — de titane ; — de tungstène ; — de zinc. — Céruse ; — de Mulhouse. — Lithopone. — Sulfure de zinc. — V. Couleurs bleues. Bleus de cobalt ; — cœruleum ; — égyptien ; — d'outremer, etc. — VI. Couleurs brunes. Bistre. — Brun de Florence ; — de Prusse. — Van Dyck, etc. — VII. Couleurs jaunes. — VIII. Couleurs naturelles. Minium d'aluminium ; — de fer. — Ogres : *jaunes, rouges*, etc. — IX. Couleurs noires. Noir de charbon. — Noirs divers ; — de fumée. — Fer micacé. — X. Couleurs rouges. Carmin. — Minium. — Mine-orange. — Pourpre de Cassius, etc. XI. Couleurs vertes. — XII. Couleurs violettes. — XIII. Bronzes-couleurs. — XIV. Couleurs par mélanges. Nuances bleues ; — grises ; — jaunes ; — vertes ; — violettes. — XV. Commerce des couleurs.

DEUXIÈME PARTIE

VERNIS

- I. Généralités. — II. Gommés et vernis. Résines dures ; — demi-dures ; — tendres ; — diverses. — III. Asphaltes et colorants. — IV. Résinates et linoléates. — V. Huiles. — VI. Dissolvants. — VII. Siccation des huiles. — VIII. Fabrication des vernis gras. — IX. Différents vernis gras. Vernis pour bâtiment ; — pour la carrosserie ; — industriels. — X. Propriétés des vernis gras. — XI. Fabrication des vernis à l'essence. — XII. Différents vernis à l'essence. — XIII. Fabrication des vernis à l'alcool. — XIV. Différents vernis à l'alcool. — XV. Vernis à dissolvants mélangés. Recettes. — XVI. Vernis divers. Vernis mixtes ; — au caoutchouc ; — à l'eau. — Laques. — XVII. Linoléum et toile cirée. — XVIII. Commerce des vernis.

MANUEL DU PEINTRE

II

PEINTURES, ENDUITS, MASTICS

Par Ch. COFFIGNIER, Ingénieur-chimiste (E. P. C. P.)

1 vol. in-18 de 250 pages, avec 30 figures, cartonné... 8 fr.

PREMIÈRE PARTIE

PEINTURES

I. Généralités. — II. Broyage à l'huile. — III. Broyage à l'essence. — Couleurs industrielles, blanc de zinc, lithopone, sulfure de zinc, blancs broyés ; — diverses ; — artistiques. — IV. Broyage à l'eau. Aquarelle. Gouache. — V. Peintures à l'huile ; — blanches ; — pour intérieurs ; — pour extérieurs ; — nuancées ; — au minium ; — pour panneaux, etc. — VI. Peintures vernissées. — VII. Peintures à l'eau. — VIII. Peintures spéciales ; — à l'oxychlorure de zinc ; — antirouille ; — sous-marines ; — ignifuges ; — Smith ; — Spar ; — oxydées pures ; — contre l'humidité. — IX. Recettes de peintures : résistant aux acides ; — résistant à la chaleur ; — préservatrices ; — des faux bois ; — pour radiateurs, pour plafonds, etc.

DEUXIÈME PARTIE

ENDUITS ET MASTICS

I. Enduits. — II. Mastics ; — vitrier ; — à reboucher ; — pour joints ; — divers ; — résineux (pour verres et métaux) ; — au vernis ; — résistant à l'humidité. — Recettes diverses.

TROISIÈME PARTIE

DIVERS

Alcali. — Amiante. — Aventurine. — Bronzages. — Brou de noix. — Cires. — Colles. — Cordages. — Décapants. — Emeri. — Encaustiques. — Eponges. — Filling-up. — Graphite. — Humidité des murs. — Imperméabilisation des toiles. — Inscriptions sur verre. — Or en coquille. — Pastel. — Pâte à gesso. — Plombagine. — Ponce. — Potasse. — Produits de nettoyage. — Sanguine. — Stuc. — Siccatisifs solides. — Teintures. — Tripoli. — Wood-filler.

MANUEL DE CONSTRUCTIONS AÉRONAUTIQUES

Par F.-R. PETIT, ingénieur diplômé de l'École supérieure d'aéronautique et de l'École pratique d'Électricité Industrielle.

1 vol. in-18 de 246 pages, avec 188 figures, cartonné... 8 fr.

CHAPITRE I. — Considérations générales.

Résistance opposée par l'air au mouvement des corps qui s'y déplacent. — Résultats des expériences. — Résistance de l'air sur les plans inclinés. — Principe de l'aéroplane.
Divers types d'avions. — A. Monoplans. — B. Biplans et triplans.
Manœuvre des avions.

CHAPITRE II. — Matériaux employés.

Métaux. — a. Aciers. — Boulonnerie. — Tubes. — Fils. — Tôles.
— b. Aluminium. — c. Duralumin.
Toites. — Enduits et vernis.
Caoutchouc.

CHAPITRE III. — Ailes et plans.

Constitution générale d'une aile. — Longerons.
Construction des nervures ; — Nervures en bois ; — flexibles — métallique. — Montage des nervures sur les longerons. — Fixation des ailes sur les fuselages. — Plans secondaires. — Entoilage.

CHAPITRE IV. — Fuselages.

Généralités. — Poutres de réunion. — Fuselages.

CHAPITRE V. — Dispositifs d'atterrissage.

Généralités. — Châssis Blériot ; — Antoinette ; — R. E. P. — Nieuport ; — Bayard-Clément ; — Deperdussin.

CHAPITRE VI. — Hélices.

Généralités. — Détermination de la surface de la pale dans l'espace. — Modelage de l'hélice. — Hélices métalliques ; — en bois ; — à charpente ; — centrifuges. — Divers types d'hélices et procédés de construction. — Hélices à pas variable.

CHAPITRE VII. — Moteurs.

Moteurs à cylindres fixes ; — Renault à refroidissement par air ; — Hispano-Suiza à refroidissement par eau ; — Renault à refroidissement par eau ; — Salmson ; — rotatifs ; — Le Rhône.

CHAPITRE VIII. — Dispositifs de commande.

Commandes Blériot ; — Deperdussin ; — A. O. F. ; — Bréguet, etc.

MANUEL DE L'AUTOMOBILE

CONSTRUCTION. — DIFFÉRENTS TYPES

Par M. DUBOËUF, ingénieur A. et M.

1 vol. in-18 de 300 pages avec figures, cartonné.

I. — Construction du châssis.

II. — Rôle, fonctionnement et description des différents organes du châssis.

Moteur. — Calculs de la puissance du moteur. — Rôle, description et fonctionnement des divers organes du moteur. — Cylindres. — Piston, bielles, vilebrequin. — Carburateur, magnéto, bougies, etc. — Graissage. — Différentes sortes de graissages. — Refroidissement, différents modes de refroidissement. — Radiateur. — Lancement électrique, embrayage. — Différentes sortes d'embrayages. — Boîte de vitesse, cardan. — Pont arrière. — Différentiel. — Essieu arrière. — Suspension arrière. — Roues amovibles. — Essieu. — Direction. — Pneumatiques. — Freins. — Différentes sortes de freins, frein sur 4 roues. — Fixation des divers organes. — Eclairage.

III. — Construction. Montage. Réglage.

Moteur. — Carter. — Palier. — Cylindres. — Usinage. — Différents montages. — Segments. — Bielle. — Montage des vilebrequins. — Détermination des dimensions données à un arbre vilebrequin. — Différents calculs. — Equilibrage du vilebrequin. — Montage des coussinets. — Distribution. — Arbre à cames. — Usinage des soupapes, rodage, collecteur d'admission. — Collecteur d'eau. — Volant. — Usinage des différentes pièces. — Réglage du moteur. — Vérification du volume de la chambre de compression. — Réglage de la distribution ; — à la pige. — Rodage du moteur. — Etablissement du pignon de la magnéto de l'arbre à cames. — Moteur à 4, 6 et 8 cylindres. — Pignon de commande de l'arbre à cames. — Embrayage. — Montage de l'embrayage à cône, détermination des dimensions essentielles. — Embrayage à disques. — Boîte de vitesse. — Carter. — Montage de la boîte. — Montage des essieux. — Usinage des fusées. — Direction. — Vérification. — Ressorts. — Etablissement des dimensions du ressort, tige de lames. — Construction. — Forgeage. — Chassis ; — emboutis. — Traçage des pièces, découpage des fers, poinçonnage et rodage. — Construction des engrenages à employer sur les automobiles. — Rapports entre eux. — Usinage. — Engrenages, droit, conique et hélicoïdaux. — Montage des roulements à billes.

MANUEL DES CHEMINS DE FER

par M. BOURDE, Ingénieur des Travaux publics de l'État.

1 vol. in-18 de 450 pages avec 300 figures et planches, cartonné.

PREMIÈRE PARTIE

LEVÉ DE PLAN. — NIVELLEMENT

- I. Levé de plan. — Notions générales. — Jalonnage. — Chafnage. — Goniomètre. — Méthodes de levé. — II. Notions générales. — Niveau. — Les Mires. — Méthodes de nivellement. — III. Représentation du terrain. — Divers modes de représentation.

DEUXIÈME PARTIE

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

- I. Définitions. — II. Des fonctions générales des diverses parties. — Voie. — Ballast. — Banquettes. — Fossés. — Talus. — Profil général d'un chemin de fer. — III. **Conditions générales des tracés.** — Diverses phases de la construction. — Etudes préliminaires. — Conditions d'établissement. — IV. **Études définitives.** — Etude sur carte ; — sur le terrain ; — au bureau. — Piquetage et levé des profils. — V. **Rédaction des projets.** — Nomenclature et disposition des pièces. — Calcul des profils en travers. — Cubature des terrains. — Calcul approximatif des terrassements supposant le terrain horizontal dans les profils en travers ; — Du mouvement des terres. — Mètre des ouvrages d'art.

TROISIÈME PARTIE

CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER

- I. Généralités. — II. Infrastructure. — Terrassements. — Chargement, transport et déchargement. — Organisation des chantiers. — Exécution des remblais. — Consolidation et Assainissement des talus et de la plate-forme. — III. **Ouvrages d'art.** — Ouvrages d'art destinés à assurer l'écoulement des eaux ; — destinés au rétablissement des communications ; — exceptionnels. — Construction des ouvrages d'art. — IV. Fondations. — Classification de terrains. — Terrains compressibles ; — incompressibles ; — compressible superposé à un terrain incompressible ; — indéfiniment compressible. — Précautions à prendre dans les terrains affouillables. — V. **Maçonnerie.** — Matériaux. — Composition des mortiers et bétons. — Fabrication. — Exécution des maçonneries. — VI. Bois et métaux. — Bois. — Métaux. — Peinture. — VII. **Superstructure.** — Éléments de la voie. — Disposition des éléments de la voie. — Pose de la voie en courbes ; — de la voie des tramways sur les accotements des routes. — Appareils de voie. — VIII. Voies diverses. — IX. **Bâtiments.** — Bâtiments de voyageurs. — Installations nécessaires pour l'alimentation des machines. — X. **Dépenses de construction.** — Dépenses générales ; — d'infrastructure.

MANUEL DE VANNERIE

(Technologie vannière)

PAR

Eug. LEROUX

Ingénieur-agronome,
Directeur,
A l'École nationale d'Osiériculture et de Vannerie de Fayl-Billot.

R. DUCHESNE

Chef de fabrication,
Professeur,

4 vol. in-18 de 376 pages, avec 274 fig., cartonné..... 40 fr.

I. — Notions générales.

Outillage. — Matières premières employées en vannerie.

II. — Grosse vannerie.

Travail en plein. — Les fonds ; les montants ; les torches ; les cordons ; torche sur le bout dans un panier rectangulaire en travail piqué ; la clôture ; bordures ; les emboîtages ; pied d'osier ; épiluchage du panier ; les anses ; les couvercles et leurs attaches les fermetures.

III. — Travail à jour de grosse vannerie.

Panier à jour simple ; le croisé simple ; le croisé double ; travail à jour renforcé.

IV. — Vannerie rustique.

V. — Vannerie à monture de chêne.

VI. — Garnitures accessoires.

VII. — Les emballages.

VIII. — Articles de grosse vannerie non compris dans les emballages.

IX. — Vannerie fine.

Travail de l'osier rond ; — du rotin filé ; — d'osier rond et d'éclisses.

X. — Articles de vannerie fine.

Articles de provision ; — de pêche ; — de voyage ; — de table ; — de bureau ; — divers.

XI. — La vannerie de luxe.

La chaise. — Le fauteuil. — Le canapé. — Les tables. — Tabouret de pied. — Chaise-longue. — La sellette ou piédestal. — Corbeille sur pied. — Meubles suisses. — Mesures de fauteuil pour enfants.

MANUEL DU TANNEUR, DU CORROYEUR ET DU MÉGISSIER

Par M. Huc, professeur de l'Enseignement technique
à Mazamet.

1 vol. in-18 de 300 pages avec 150 figures, cartonné.

CHAPITRE I. — La chimie du Tanneur.

La chimie générale. — L'eau en tannerie. — Les tannins. — Les composés du chrome. — Acides. — Bases. — Sels. — Corps gras. — Savons. — Gommés-Laques. — Substances tannantes végétales. — Tanins synthétiques. — Matières colorantes artificielles. — Matières colorantes naturelles. — Mordants. — Tables numériques.

CHAPITRE II. — Technologie de la Tannerie et de la Mégisserie. Corroyage.

Structure de la peau. — Conservation des peaux. — Défauts des peaux. — Diverses parties d'une peau et considérations pratiques. — Le travail de rivière. — Tannage végétal ; — minéral. — Corroyage. — Cuirs battus ; — lisses ; — en suif. — Vaches en huile. — Veau ciré. — Cuirs de Russie. — Mégisserie. — Peaux housées. — Parcheminerie. — Le cuir au chrome. — Cuir verni. — Travail des fourrures. — Utilisation des peaux de lapin. — Courroies. — Étude complète d'une fabrication suivie. — Mégissage des peaux de lapins et sauvagines. — Utilisation de la tanée. — Récupération des corps gras dans les déchets de corroirie.

CHAPITRE III. — Travaux pratiques.

La balance d'essais. — Estimation des tanins. — Burette de Mohr. — Liqueur titrée d'acide oxalique. — Alcalimétrie. — Liqueur titrée de soude caustique. — Solution titrée d'acide sulfurique. — Acidimétrie. — Essai d'une chaux ; — du sulfure de sodium ; — d'un bichromate. — Comment reconnaître le cuir chromé. — Reconnaître si un cuir a été chromé à un ou deux bains. — Reconnaître si le tannage au chrome a été poussé à fond. — Préparation de l'huile de bouleau ; — des huiles sulfonées. — Considérations sur les dégras et préparation de ces substances. — Détermination des points de congélation des huiles ; — du titre des suifs. — Essai de pré-tannage à la quinone. — Démontage (peau tannée au végétal). — Eclaircissement des cuirs (tannés au végétal). — Blanchiment des cuirs (tannés au végétal). — Pratique du picklage et du dé-picklage. — Essai comparatif des colorants ; — de solidité de teinture. — Genèse des couleurs. — Échantillonnage. — Le journal d'essais. — Instructions pratiques pour la teinture. — Recherche qualitative des tanins. — Contrôle du tannage. — Identification de colorants usuels.

MANUEL DE CORDONNERIE

Par M. A. LIEGEART, directeur de l'École pratique
et des Cours professionnels de Romans.

1 vol. in-18 de 350 pages avec figures, cartonné.

APPLICATIONS DU PATRÓN ET NOTIONS TECHNOLOGIQUES RELATIVES A LA CONSTITU- TION DU PIED ET A LA CHAUSSURE.

- I. Le pied. — Morphologie. — Mesures. — II. Forme. —
— Etude de la forme. — Proportion. — III. Matières pre-
mières employées dans la fabrication de la chaussure. —
Notions élémentaires sur le tannage et le corroyage. —
Vernis. — Lacets. — Doublures. — Claques, etc... —
Mesures des peaux. — Le tissu. — IV. La chaussure. —
Différentes parties que doit remplir une chaussure rati-
onelle. — Chaussures sur mesure ; — fabriquées méca-
niquement. — Différents types de chaussures. — Chaussures
modernes et de luxe. — V. Éléments constitutifs de la
chaussure. — Cuirs à dessus et à dessous. — Le semelage.
— La première, forme et rôle. — L'entre-deux. — La semelle
extérieure.

PATRONAGE.

- I. La première. — Tracé. — Ajustage. — Procédés de tracés
de premières. — Premières sur pied. — II. Le patron. —
Plan. — Procédés de dressage ; — pour habillage de la
forme. — Tracés et greffage de la tige sur le patron plan. —
III. Le patron de doublure, et les claques. — Claques
rondes. — Plan carré. — Patron de coupe. — Talonnettes.
— Bouts rapportés. — Plan de coupes, etc... — IV. Les
quartiers. — V. Souliers bas et brodequins. — VI. Applications
de règle du patronage. — VII. Les séries ; — de premières ;
— de patron plan ; — obtenues par la méthode dite « au
cliché ». — Exécution de séries de patron de détails.

LA COUPE.

- I. Coupe et débit des cuirs. — Cuirs à semelles ; — à dessus. —
Différentes peaux. — II. Travail à la main. — Outillage. —
III. Le cousu main. — Montage. — Couture. — Talon. —
Finissage. — IV. La fabrication mécanique. — V. La fabri-
cation mécanique des tiges. — Couture. — Machine à coudre.
— Apprêts. — VI. Patronage et coupe des tiges.

EXÉCUTION DE LA CHAUSSURE COUSUE MAIN ET TRAVAIL MÉCANIQUE

- I. La fabrication mécanique. — II. Montage et couture. — III.
Le finissage.

APPLICATIONS DIVERSES. — PROGRAMME

MANUEL DE PARFUMERIE

par M. LAZENNEC,

Préparateur à l'Institut de Chimie appliquée
de la Faculté des Sciences.

1 vol. in-18 de 250 pages avec figures, cartonné..... 6 fr.

PREMIÈRE PARTIE

LES MATIÈRES PREMIÈRES

- I. Matières premières employées en parfumerie. — II. Les parfums d'origine végétale. — Le parfum dans la plante. — Extraction des essences ; — du parfum par macération ; — du parfum par enflourage ; — par les dissolvants ; — par expression. — Épuration des essences. — Rendement des végétaux en essences. — Propriétés générales des essences. — Falsification des essences. — III. Étude des principales essences. — Amandes amères. — Angélique. — Anis. — Aspic. — Badiane. — Bergamotte. — Camphre. — Cannelle. — Citron. — Citronnelle. — Eucalyptus. — Géranium. — Giroflée. — Iris. — Jasmin. — Lavande. — Menthe. — Nérol. — Patchouli. — Rose, etc... — IV. Parfums d'origine animale. — Ambre. — Musc. — Civette. — V. Parfums artificiels et synthétiques. Produits extraits des huiles essentielles. — Anéthol. — Citral. — Géraniol. — Menthol, etc... — Produits obtenus par synthèse chimique. — Alcools et éthers. — Acétones. — Dérivés Nitrés, etc...

DEUXIÈME PARTIE

PRÉPARATION DES PARFUMS

- I. Eaux aromatiques, infusions et teintures ; — Eau de fleurs d'orange, de lavande, etc... — II. Extraits composés. — Eaux de toilette ; — de Cologne. — Vinaigres de toilette. — Formule pour la préparation de la Bergamotte, de Foin coupé. — Extrait d'Héliotrope, de Lilas blanc, de Muguet, de peau d'Espagne ; — de Roses ; — de Violette. — Eaux de toilette ou lotions. — Formule pour la lotion au Portugal, de Lavande, d'Héliotrope, de Quinine. — Eau de Cologne russe à faible degré ; — ambrée ; — antiseptique. — Vinaigres de toilette à l'Œillet, au Romarin. — III. Les dentifrices. — Elixirs dentifrices. — Formules, poudre, pâte, savon. — IV. Crèmes pour le visage. — Lait de toilette (formules et méthodes de préparation). — V. Huiles. — Pommades. — Brillantines. — Cosmétiques (formules et méthodes de préparation). — VI. Poudres de riz ; — pour sachets. — Formules et méthodes de préparation. — VII. Les fards. — Fards secs ; — liquides ; — gras. — Crayons. — Formules et méthodes de préparation. — VIII. Teintures pour les cheveux ; — à base de sel minéral ; — à base organique. — à base végétale. — Formules et méthodes. — IX. Épilatoire. — X. Parfums d'appartement. — Liquides fumigatoires. — Poudres et pastilles fumigatoires. — Papiers fumigatoires. — Papier d'Orient ; — anglais. — XI. Savons. — Préparations générales des savons. — Divers procédés. — Formules de préparations : à la Rose ; — à la Prunelle ; — à la Verveine, etc... — Savons en poudre ; — à barbe, etc...

MANUEL DE SUCRERIE

TECHNOLOGIE SUCRIÈRE

Par M. ROUBERTY,

Ancien chimiste aux raffineries Say et Lebaudy,
Professeur de Chimie industrielle aux laboratoires Bourbouze.

1 vol. in-18 de 300 pages avec 50 figures, cartonné... 8 fr.

I. — Le sucre de betterave.

II. — Culture de la betterave à sucre.

Plantation. — Variétés.

III. — Fabrication du sucre de betterave.

Arrivée à l'usine. — Diffusion. — Fours à chaux. — Épuration.
— Travail des écumes. — Évaporation. — Turbinage.

IV. — Le sucre de canne.

Chimie des sucres. — Combinaisons. — Culture. — Extraction.
— Fabrication.

V. — Le raffinage.

Travail des sucres bruts. — Filtration. — Décoloration. — Épu-
ration. — Blanchiment. — Étuvage.

VI. — La mélasse.

Divers procédés.

VI. — Contrôle chimique de la fabrication du sucre.

Méthodes employées. — Analyses. — Réfraction. — Appareils.
— Procédés. — Liqueurs. — Différents dosages, méthodes dé-
taillées.

VIII. — Analyses de sucrerie.

Analyses des betteraves. — Cossettes fraîches. — Jus de diffu-
sion. — Cossettes épuisées. — Écumes de défécation, etc.

IX. — Le contrôle chimique dans les sucreries de cannes.

Canne. — Bagasse. — Jus de première et de deuxième pression.
— Jus vert. — Sirop. — Tourteaux de filtres-presses. — Masses
cuites de premier et deuxième jet. — Mélasse. — Sucre de
premier jet. — Bas produit.

X. — Acidimétrie. Alcalimétrie. Liqueurs titrées.

XI. — Essai des matières premières.

Essais des calcaires et des chaux ; — d'un noir animal ; — des
noirs résidus ; — des charbons ; — d'une graisse consistante ;
— des graisses. — Graisses neutres. — Détermination des
matières saponifiables ; — des huiles non falsifiables. — Do-
sage des

MANUEL DES ENCRES, CIRAGES, COLLES

PAR M. DE KEGHEL, Ingénieur chimiste E. P. C. P.

1 vol. in-18 de 400 pages avec figures, cartonné. 10 fr.

LES ENCRES ET LEUR FABRICATION

I. Généralités. — II. Les différentes espèces d'encres. — III. Encres à écrire. — IV. Encres noires. — V. Chimisme des encres noires. — VI. Les matières premières entrant dans la préparation des encres. — VII. Matières premières pour encres noires. — VIII. Dispositif et installations pour la fabrication des encres. — IX. La formation des encres gallo-tanniques. — X. Les anti-septiques. — XI. La préparation des encres ferro-galliques. — XII. Les encres au tanin. — XIII. Les encres à l'acide gallique. — XIV. Encres à bases d'extraits tinctoriaux. — XVI. Encres d'alizarine. — XVII. Encres colorées. — XVIII. Encres d'aniline. — XIX. Encres à copier. — XX. Encres sympathiques. — XXI. Encres de sûreté. — XXII. Encres solides et encres en poudre. — XXIII. Les encres Hectographiques. — XXIV. Encres pour stylographes. — XXV. Encres diverses, encres pour écrire sur métaux. — XXVI. Détermination de l'ancienneté des écrits à l'encre

LES CIRAGES CRÈMES POUR CUIRS ET LEUR FABRICATION MODERNE

I. Les cirages. — II. Les matières premières pour cirages. — III. Les cirages et leur fabrication. — IV. Les cirages à l'acide. — V. Cirages sans acides. — VI. Les crèmes et pâtes pour chaussures. — VII. Matières premières : crèmes à l'essence. — VIII. Les crèmes à l'essence. — IX. Les crèmes à l'eau. — X. Crèmes mixtes. — XI. Préparations diverses. Crèmes en poudre pour chaussures. — XII. Encaustiques et produits à polir. — XIII. Emballage et conservation des crèmes et cirages.

LES COLLES ET ADHÉSIFS ET LEUR FABRICATION MODERNE

I. Les colles. — II. Les matières premières (la colle forte ou colle de peau, colle d'os ou colle gélatine, colle de poisson, gomme). — III. Préparation des colles (colles fortes liquides, colle à la bouche, préparations diverses à base de colle forte ou colle de poisson, colle de fécule ou d'amidon). — IV. Enduits adhésifs et mastics. — Mastics gras. — Mastics résineux. — Mastics au caoutchouc. — Mastics divers.

Bibliothèque des Connaissances Utiles

à 7 fr. 50 le volume broché et 10 fr. le volume cartonné

Collection de 100 volumes in-16 illustrés, d'environ 400 pages

- Arnou. *Manuel de l'épicier.*
 — *Manuel du confiseur.*
 Arnould. *La Basse-Cour.*
 — *Le Rucher.*
 — *Constructions rurales.*
 Auscher. *Art de découvrir les sources.*
 Aygalliers. *Olivier et huile d'olive.*
 Barré. *Manuel du génie sanitaire,*
 2 vol.
 Baudouin. *Les eaux-de-vie.*
 Beauvisage. *Les matières grasses.*
 Bel. *Les maladies de la vigne.*
 Bellair. *Les arbres fruitiers.*
 Berger. *Les plantes potagères.*
 Blanchon. *Canards, oies, cygnes.*
 — *L'art de détruire les animaux nuisibles.*
 — *L'industrie des fleurs artificielles.*
 Bois. *Le petit jardin.*
 — *Les plantes d'appartement.*
 — *Les orchidées.*
 Bourrier. *Les industries des abat-toirs.*
 Brévans. *La fabrication des liqueurs.*
 — *Les conserves alimentaires.*
 — *Les légumes et les fruits.*
 — *Le pain et la viande.*
 Brunel. *Agenda du photographe.*
 Brunet. *Aide-Mémoire de l'Agriculteur.*
 Capus. *Guide du naturaliste.*
 Champetier. *Les maladies du cheval.*
 Clerc. *Aide-Mém. de photographie.*
 Coupin (H.). *L'aquarium d'eau douce.*
 — *L'amateur de coléoptères.*
 — *L'amateur de papillons.*
 Cuyer. *Le dessin et la peinture.*
 Dallet. *Les merveilles du Ciel.*
 Denaiffe. *La culture fourragère.*
 Dujardin. *L'essai commercial des vins.*
 Dumont. *L'alimentation du bétail.*
 Dupont. *L'âge du cheval.*
 Durand. *Manuel de viticulture.*
 Dussuc. *Les ennemis de la vigne.*
 Fitz-James. *La pratique de la viticulture.*
 Fontan. *La santé des animaux.*
 Gallier. *Acheteur de chevaux.*
 — *Le cheval anglo-normand.*
 Gobin. *Pisciculture en eaux douces.*
 — *Pisciculture en eaux salées.*
 Gourret. *Les pêcheries de la Méditerranée.*
 Graffigny. *Les ballons dirigeables.*
 — *Les industries d'amateurs.*
 Granger. *Les fleurs du Midi.*
 Guénaux. *L'élevage du cheval.*
 Gunther. *Méd. vétér. homœop.*
 Guyot. *Les animaux de la ferme.*
 Hall. *Le sol en agriculture.*
 Héraud. *Les secrets de la science.*
 — *Les secrets de l'alimentation.*
 — *Les secrets de l'écon. domestique.*
 — *Jeux et récréations scientifiques,*
 2 vol.
 Hisard. *Formulaire de photographie.*
 Jouenne et Perreau. *Pêche en mer.*
 Lacroix-Danliard. *La plume d'oiseaux.*
 — *Le poil des animaux et fourrures.*
 Larbalétrier. *L'alcool.*
 Larue. *Matériel agricole.*
 Lefèvre. *Le chauffage.*
 Le Hello. *Examen du cheval.*
 Locard. *Manuel d'ostréiculture.*
 — *La pêche et les poissons d'eau douce.*
 Londe. *Aide-Mémoire de photographie.*
 Marec. *Electricité à la maison.*
 Mégnin. *Nos chiens.*
 Montillot. *L'amateur d'insectes.*
 — *Les insectes nuisibles.*
 Montserant et Brisac. *Le gaz.*
 Moreau. *Les oiseaux de volière.*
 Pertus. *Le chien.*
 Petit. *Engrais en horticulture.*
 Piessé. *Histoire des parfums.*
 Poncins (de). *Motoculture pratique.*
 Relier. *Guides de l'éleveur du cheval.*
 Riche. *Monnaies, médailles, bijoux.*
 Rolet. *L'industrie laitière.*
 Rudolph. *Manuel du jardinier.*
 Saint-Loup. *Les oiseaux de parcs.*
 Sauvaigo. *Cultures du Midi.*
 Thierry. *Les vaches laitières.*
 — *Manuel de floriculture.*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1
 Ajouter 10 0/0 pour frais d'envoi.

Encyclopédie Industrielle

Collection de volumes in-18 de 400 à 500 pages, illustrés

1^{re} série à 10 fr. le volume broché :

- | | |
|--|---|
| Auscher et Quillard. <i>Céramique</i> , 2 vol. | Halphen et Arnould. <i>Essais commerciaux</i> , 2 vol. |
| Bailly. <i>L'Industrie du Blanchissage</i> . | Joulin. <i>L'Industrie des Tissus</i> . |
| Barral. <i>Analyse chimique qualitative</i> . | Keghel (de). <i>Conservation des bois</i> . |
| — <i>Analyse chimique quantitative</i> , 2 vol. | Lallié. <i>Le Froid industriel</i> . |
| — <i>Analyse chimique biologique</i> , 2 vol. | Knab. <i>Les Minéraux utiles</i> . |
| Piège. <i>Industrie du gaz</i> . | Launay (A. de). <i>L'Argent</i> . |
| Bouant. <i>Le tabac</i> . | Leduc. <i>Chaux et Ciments</i> . |
| Boutroux. <i>Le Pain et la Panification</i> . | Lefèvre. <i>L'Acétylène</i> . |
| Brochet. <i>La Galvanoplastie</i> . | Lejeal. <i>L'Aluminium</i> . |
| Chercheffshy. <i>Analyse des corps gras</i> , 2 vol. | Leroux et Revel. <i>La traction mécanique</i> . |
| Coffignal. <i>Verres et émaux</i> . | Montpellier. <i>Les Accumulateurs</i> . |
| Convert. <i>L'Industrie agricole</i> . | Pêcheux. <i>Précis de Métallurgie</i> . |
| Coreil. <i>L'Eau potable</i> . | — <i>Manipulations et mesures électriques industrielles</i> . |
| Ducharne et Violettes. <i>Manuel de l'Orfèvre</i> . | Poutiers. <i>La Menuiserie</i> . |
| Dupont. <i>L'Industrie des Matières colorantes</i> . | Puget. <i>Cuirs et Peaux</i> . |
| Fabrigue. <i>Chauffage central</i> . | Puget. <i>Savons et Bougies</i> . |
| Gautier. <i>Sophistication et analyse des vins</i> . | Puget. <i>Fabrication du papier</i> . |
| Girard. <i>Cours de Marchandises</i> . | Riche et Forest. <i>L'Art de l'Essayer</i> . |
| Gondy. <i>Horlogerie</i> . | Schœller. <i>Les Chemins de fer</i> . |
| Guichard. <i>L'Eau dans l'Industrie</i> . | Sidersky. <i>Usages industriels de l'alcool</i> . |
| Guichard. <i>La Distillerie</i> , 3 vol. | Sidersky. <i>Sucrierie</i> . |
| Guillet. <i>L'Electrochimie et l'Electrometallurgie</i> . | Trillat. <i>L'Industrie en Allemagne</i> . |
| Haller. <i>L'Industrie chimique</i> . | Trillat. <i>Les Produits chimiques</i> . |
| Halphen. <i>La Soude</i> . | Vignon. <i>La Soie</i> . |

2^e série à 15 fr. le volume broché :

- | | |
|---|--|
| Barni, Montpellier et Marec. <i>Le Monteur électricien</i> . | Letombe et Lacoïn. <i>Moteurs</i> . |
| Delsalme et Pierron. <i>Couleurs et Vernis</i> . | Pêcheux. <i>Physique et Electricité industrielles</i> . |
| Jumelle. <i>Huiles végétales</i> . | Piessé. <i>Chimie des Parfums</i> . |
| | Witz. <i>Les Gazogènes</i> . |

Ajouter 10 0/0 pour frais d'envoi.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

MANUEL DU FABRICANT DE JOUETS

Par M. BROQUELET, Inspecteur de l'Enseignement technique.

1 vol. in-18 de 300 pages, avec 183 figures, cartonné....., 10 fr.

L'art appliqué à la fabrication des jouets.

Modelage.

Le moulage.

Moulage en plusieurs pièces.

Outils utilisés pour la fabrication des jouets.

Outils pour le découpage du bois.

Colles employées.

Métaux employés.

Bois employés.

Peaux les plus employées dans l'industrie du jouet.

Moule.

La poupée.

Décoration des têtes de poupées en porcelaine.

Jouets en carton moulé.

Jouets en pâte de carton compressée.

Fabrication des animaux en tissus.

Tambour.

Le Diable.

Evolution du jouet en métal.

Jouets en fer blanc.

Coffre-fort.

Fabrication des jouets en fer blanc marchant mécaniquement.

L'hélice.

Le ballon dirigeable.

Fabrication des bêtes à bon Dieu, scarabées, souris, tortues et autres jouets en métal décoré.

Décoration des jouets au moyen du chromographe.

Jouets électriques.

Fabrication des jouets fonctionnant au moyen de l'électricité.

Petites machines-outils.

Le canon de 75.

Genium.

La terre développée.

Presse lithographique.

Locomotive Compound à quatre cylindres du type « Baltic ».

Jouets automatiques.

La décoration au pochoir.

Le cheval de bois.

Brouettes et charrettes.

MANUEL DE L'OUVRIER FUMISTE EN BATIMENT

Par A. BELLONI, professeur en chef de l'Ecole pratique d'application de la Chambre syndicale de la Fumisterie.

1 vol. in-18 de 400 pages, avec 200 figures, cartonné..... 40 fr.

I. — Eléments.

Outillage,

II. — Matériel.

Outils spéciaux à la profession.

III. — Matériaux.

Briques. — Les Boisseaux. — Les poteries. — Les wagons. — Carreaux de terre cuite. — Carreaux de faïence. — La terre à four. — Le coulis réfractaire. — La chaux. — Le plâtre. — Les fers.

IV. — Objets fabriqués.

Les montants de tuyaux. — Objets fabriqués pour cheminées. — Appareils calorifiques. — Rétrécissements en faïence. — Rétrécissements en fonte. — Trappes. — Bouches de chaleur. — Objets fabriqués pour poêles. — Fourneaux de cuisine portatifs. — Hottes. — Ventilation.

V. — Travaux manuels.

Ramonage.

VI. — Réparations de petit entretien.

Cheminées. — Poêles. — Fourneaux. — Calorifères. — Chau-dières.

VII. — Pose et installation de cheminées portatives.

VIII. — Scellements en plâtre et en ciment — Raccords.

Les raccords. — Scellements de mitres, mitrons et montant de tuyaux hors comble.

IX. — Ouvrages en briques.

Murs de diverses épaisseurs. — Taille de briques. — Démaigri. — Jambages. — Appareillage. Liaisonnement. — Parement. — Arrachements. — Enduits.

X. — Conduits de chaleur et de fumée.

XI. — Cheminées d'appartement.

Chambranles en marbre. — Construction d'intérieurs de cheminées. — Construction des intérieurs ou foyers de cheminées. — Pose et installation d'appareil Fondet. — Cheminées avec appareils Mousseron, Parisiens ou similaires. — Cheminées à la Rumford. — Construction de trémies. — Etalement de planchers.

XII. — Fourneaux de cuisine.

Fourneaux portatifs. — Fourneaux de construction. — Bouilleurs de fourneau. — Revêtements en faïence. — Hottes de cuisine. — Construction de poêles en faïence. — Construction de calorifères de cave à air et à eau.

MANUEL DU PROSPECTEUR

Par P. BRESSON, ingénieur civil des Mines.

1 vol. in-18 de 300 pages, avec 150 figures, cartonné..... 40 fr.

PREMIÈRE PARTIE. — NOTIONS DE GÉOLOGIE.

CHAPITRE I. — Formation des gisements métallifères.

CHAPITRE II. — Classification des gisements métallifères.

A. Classification. — B. Gisements plutoniens. — C. Gisements secondaires. — D. Gisements filoniens ou hydrothermaux.

DEUXIÈME PARTIE. — PROSPECTION

CHAPITRE I. — Etudes sur le terrain.

Géologue et prospecteur. — Recherche dans les alluvions. — Recherches des gisements en place. — Echantillonnage. — Lecture des cartes géologiques. — Accoutrement du prospecteur. — Prospection en pays isolés.

CHAPITRE II. — Etude des roches.

Roches éruptives et métamorphiques. — Roches sédimentaires.

CHAPITRE III. — Etude des minéraux.

Caractères cristallographiques. — Caractères extérieurs des cristaux. — Caractères chimiques.

CHAPITRE IV. — Etude des minerais.

Aluminium. — Antimoine. — Argent. — Arsenic. — Baryum. — Bismuth. — Bore. — Calcium. — Carbone. — Chrome. — Cobalt. — Cuivre. — Etain. — Fer. — Fluor. — Glucinium. — Lithium. — Magnésium. — Manganèse. — Mercure. — Molybdène. — Nickel. — Or. — Pierres précieuses. — Platine, iridium, etc. — Plomb. — Potassium. — Sélénium. — Silice et Silicates. — Sodium. — Soufre. — Strontium. — Tellure. — Terres rares. — Titane. — Tungstène. — Uranium — Radium. — Vanadium. — Zinc.

Travaux d'exploration. — Sondage. — Evaluation d'un gisement. — Tableau de reconnaissance des minerais. — Méthodes d'exploitation. — Soutènement. — Aérage. — Eclairage. — Circulation du personnel. — Exhaure. — Chantiers. — Galeries. — Plans inclinés. — Puits. — Triage à la main. — Enrichissement mécanique. — Traitement mécanique. — Organisation générale. — Conclusion.

MANUEL DU MINEUR

Par J. DENIS, Ingénieur civil des Mines.

1 vol. in-18 de 360 pages, avec 200 figures, cartonné..... 10 fr.

CHAPITRE I. — Notions géologiques sur le terrain houiller.

Principales roches du terrain houiller. — Couches de houille.

CHAPITRE II. — Abatage.

Abatage à la main. — Abatage aux explosifs. — Abatage mécanique. — Disposition des chantiers d'abatage.

CHAPITRE III. — Boisage et soutènement.

Travail des bois. — Méthodes de boisage. — Méthodes diverses de soutènement.

CHAPITRE IV. — Remblayage.

Remblayage à la main. — Remblayage hydraulique.

CHAPITRE V. — Transports.

Transports souterrains. — Transport au chantier. — Roulage dans les plans inclinés. — Roulage dans les galeries principales. — Transport dans les puits ou extraction.

CHAPITRE VI. — Aérage, grisou et poussières.

Généralités sur l'aérage. — Grisou. — Organisation de l'aérage. — Poussières de houille. — Eclairage des travaux souterrains.

CHAPITRE VII. — Epuisement.

Aménagement des eaux. — Epuisement des eaux.

CHAPITRE VIII. — Fonçage des puits.

Exécution du fonçage. — Soutènement provisoire. — Soutènement définitif. — Fonçage en terrains très aquifères.

CHAPITRE IX. — Accidents et sauvetages.

Eboulements. — Explosions. — Feux. — Inondations. — Coups d'eau. — Premiers soins à donner aux blessés.

Lectures des plans de mines.

Réglage et emploi de l'indicateur de grisou Chesneau. — Observation des auréoles. — Recommandations pour les tournées dans les travaux.

ENCYCLOPÉDIE

Technologique et Commerciale

PAR

E. D'HUBERT
 Professeur
 à l'École supérieure
 de Commerce de Paris.

H. PÉCHEUX
 Sous-Directeur
 de l'École d'Arts et Métiers
 de Lille.

A.-L. GIRARD
 Directeur
 de l'École de Commerce
 de Narbonne.

Collection nouvelle en 24 vol. in-16 de 100 p. avec fig., cart., à 2 fr. 50.

I. — LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET D'ORNEMENTATION.

- | | |
|---|----------|
| 1. — Le bois et le liège..... | 2 fr. 50 |
| 2. — Les pierres, les marbres, les ardoises, le plâtre..... | 2 fr. 50 |
| 3. — Les chaux et ciments, les produits céramiques..... | 2 fr. 50 |
| 4. — Les verres et cristaux, le diamant et les gemmes..... | 2 fr. 50 |

II. — LA MÉTALLURGIE.

- | | |
|---|----------|
| 5. — Les minerais, les métaux, les alliages..... | 2 fr. 50 |
| 6. — Les fers, fontes et aciers..... | 2 fr. 50 |
| 7. — Les métaux usuels (cuivre, zinc, étain, plomb, nickel, aluminium)..... | 2 fr. 50 |
| 8. — Les métaux précieux (mercure, argent, or, platine)... | 2 fr. 50 |

III. — LA GRANDE INDUSTRIE CHIMIQUE.

- | | |
|---|----------|
| 9. — Les matières premières (eau, glace, air liquide, combustibles)..... | 2 fr. 50 |
| 10. — Les matières éclairantes (pétrole, gaz d'éclairage, acétylène)..... | 2 fr. 50 |
| 11. — Le chlorure de sodium, le sel, les potasses, les sodes..... | 2 fr. 50 |
| 12. — Les acides chlorhydrique, azotique, sulfurique..... | 2 fr. 50 |

IV. — LES PRODUITS CHIMIQUES.

- | | |
|--|----------|
| 13. — L'oxygène, l'ozone, l'ammoniaque, les vitriols, les aluns..... | 2 fr. 50 |
| 14. — Le salpêtre, les explosifs, les phosphates et les engrais, le phosphore et les allumettes..... | 2 fr. 50 |
| 15. — Les couleurs, les matières colorantes, la teinturerie..... | 2 fr. 50 |
| 16. — Les parfums, les médicaments, les produits photographiques..... | 2 fr. 50 |

V. — LES PRODUITS INDUSTRIELS ANIMAUX ET VÉGÉTAUX.

- | | |
|---|----------|
| 17. — Les corps gras, savons et bougies..... | 2 fr. 50 |
| 18. — Le cuir, les os, l'ivoire, l'écaille, les perles..... | 2 fr. 50 |
| 19. — Les textiles, les tissus, le papier..... | 2 fr. 50 |
| 20. — Le caoutchouc, la gutta, le celluloïd, les résines et les vernis..... | 2 fr. 50 |

VI. — LES PRODUITS ALIMENTAIRES.

- | | |
|---|----------|
| 21. — Les aliments animaux (viande, œufs, lait, fromages)..... | 2 fr. 50 |
| 22. — Les aliments végétaux (herbages, fruits, féculs, pain)..... | 2 fr. 50 |
| 23. — Les boissons (bières, vins, liqueurs)..... | 2 fr. 50 |
| 24. — Les sucres, le cacao, le café, le thé..... | 2 fr. 50 |

Ajouter 10 0/0 pour frais d'envoi.

PETITE BIBLIOTHÈQUE AGRICOLE

Collection de volumes in-16 de 100 à 120 pages à 2 fr. 50 le volume:

- Breton-Bonnard.** Le peuplier, sa plantation rationnelle.
- Brunet.** Les maladies du vin.
- Chenevard.** L'Élevage du Lapin.
- Hygiène et Maladies des Volailles.
- Alimentation rationnelle des volailles.
- Culture maraîchère et de primeurs du Sud-Est, du Midi et de l'Afrique du Nord.
- Coirard.** — Amélioration de l'élevage des animaux de l'espèce bovine par la création de prairies temporaires.
- Daire.** — Les Microbes en laiterie.
- Delpérier.** — Manuel du maréchal-ferrant.
- Diffloth.** Les nouvelles Méthodes de Culture.
- La Conservation des Récoltes.
- Anes et Mulets.
- Ducoux.** — Economie ménagère agricole.
- Vacherie et Porcherie.
- Laiterie et Beurrerie.
- La Basse-Cour.
- Jardinage.
- Méthode pratique de Comptabilité agricole.
- Cahier d'exercice d'initiation à la Comptabilité agricole.
- Tableaux de Comptabilité de Laiterie.
- Ducomet.** Plantes alimentaires sauvages.
- Granderye.** Météorologie pratique de l'Agriculteur.
- Hennequin.** Elevage et Culture après la guerre.
- Jumelle.** Cultures coloniales, 8 vol.:
- Plantes à Féculé et Céréales.
- Plantes à Sucre, Café, Cacao, Thé.
- Légumes et fruits.
- Plantes à épices et Plantes médicinales.
- Plantes textiles.
- Plantes oléagineuses.
- Plantes à latex et à résines.
- Plantes à essences, Plantes tinctoriales, Tabac.
- Lallié.** — Les moteurs agricoles.
- Lemaire.** Les ruches. Choix et aménagement.
- La conduits du rucher.
- Les produits du rucher, miel, cire, hydromel.
- Lhoste.** — Les Succédanés des Fourrages.
- Mazières (A. de).** Culture de l'Olivier.
- Culture de l'Oranger.
- L'industrie des fruits à sécher; le figuier, l'abricotier, le prunier.
- Montgard.** Tableaux synoptiques de Viticulture.
- Tableaux synoptiques de vinification.
- Morin.** — La Plume des Oiseaux.
- Passy.** — Plantation et Greffage des Arbres fruitiers.
- Taille des Arbres fruitiers.
- Culture du Poirier.
- Culture du Pommier, du Cognassier, du Néflier, du Figuier, du Noyer, du Châtaignier, du Noisetier.
- Culture du Pêcher, de l'Abricotier, du Prunier, du Cerisier.
- Culture des Raisins de table.
- Pée-Laby.** — La Viticulture nouvelle. Les producteurs directs.
- Pradel.** — Manuel de Trufficulture.
- Rey.** — La Culture rémunératrice du Blé.
- Rodillon.** — La Basse-cour moderne.
- Sellensperger.** — Agriculture générale.
- Cultures spéciales, Céréales, Plantes fourragères.
- Viticulture, Vinification, Arboriculture, Horticulture.
- Zootechnie, Elevage, Basse-Cour, Apiculture.
- Economie rurale, Legislation, Comptabilité.

DEMANDER LE CATALOGUE DE

L'ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE WERY 90 VOLUMES

ET DES OUVRAGES D'AGRICULTURE

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Grandes Encyclopédies Industrielles J.-B. Baillière

200 vol. in-8 (16 × 23,5) de 300 à 700 pages avec figures.
Chaque volume de 20 à 40 fr. environ.

I. — *ENCYCLOPÉDIE MINIÈRE ET MÉTALLURGIQUE*

Directeur : M. GUILLET, Prof. à l'École Centrale
et au Conservatoire des Arts et Métiers.

II. — *ENCYCLOPÉDIE D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE*

Directeur : M. BLONDEL, Membre de l'Institut.

III. — *ENCYCLOPÉDIE DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE*

Directeur : M. LECORNU, Membre de l'Institut.

IV. — *ENCYCLOPÉDIE DU GÉNIE CIVIL ET DES TRAVAUX PUBLICS*

Directeur : M. MESNAGER, Membre de l'Institut.

V. — *ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE*

Directeur : M. MATIGNON, Professeur au Collège de France.

Dans le monde entier, les questions relatives aux applications de la science à l'industrie ont pris une place primordiale. Malheureusement une cloison étanche sépare trop souvent le laboratoire de l'usine. Cependant, sans leur étroite collaboration, point de réussite individuelle ni de progrès national.

Or, aucun organisme n'existe qui, dans tous les domaines, réalise de façon complète, commode et sûre, l'union du savant et de l'industriel. Combler cette lacune, tel est le but des « *Grandes Encyclopédies industrielles J.-B. Baillière* ».

Le nom, la compétence, les titres de leurs directeurs sont les meilleurs garants de leur excellence. Les collaborateurs en ont été choisis parmi les spécialistes les plus éminents.

Aussi soucieuses de la clarté d'exposition que de la richesse de l'illustration et de la sûreté d'une documentation de première main encore inédite, les *Grandes Encyclopédies industrielles J.-B. Baillière* seront le fonds même de la bibliothèque de tous ceux, et ils sont légion, qui savent que l'industrie, quel que soit son champ d'action, ne peut réussir qu'en s'appuyant sur les dernières ressources mises à sa disposition par des recherches scientifiques éprouvées.

Il suffira, pour démontrer de la plus éloquente manière, la valeur des « *Grandes Encyclopédies Industrielles J.-B. Baillière* », de mentionner qu'elles ont recueilli le patronage des groupements suivants : *Société d'encouragement à l'Industrie Nationale*, — *Société des Ingénieurs civils de France*, — *Union des Industries Métallurgiques et Minières*, — *Union des Syndicats de l'Électricité*, — *Union des Industries chimiques*, — *Comité des Forges de France*, — *Société française des Electriciens*, — *Syndicat des Ingénieurs électriciens*, — *Société de Chimie Industrielle*, — *Société Hydrotechnique de France*.

DEMANDER LE CATALOGUE DÉTAILLÉ

DES GRANDES ENCYCLOPÉDIES INDUSTRIELLES J.-B. BAILLIÈRE

UNIVERSITÉ LILLE 1

