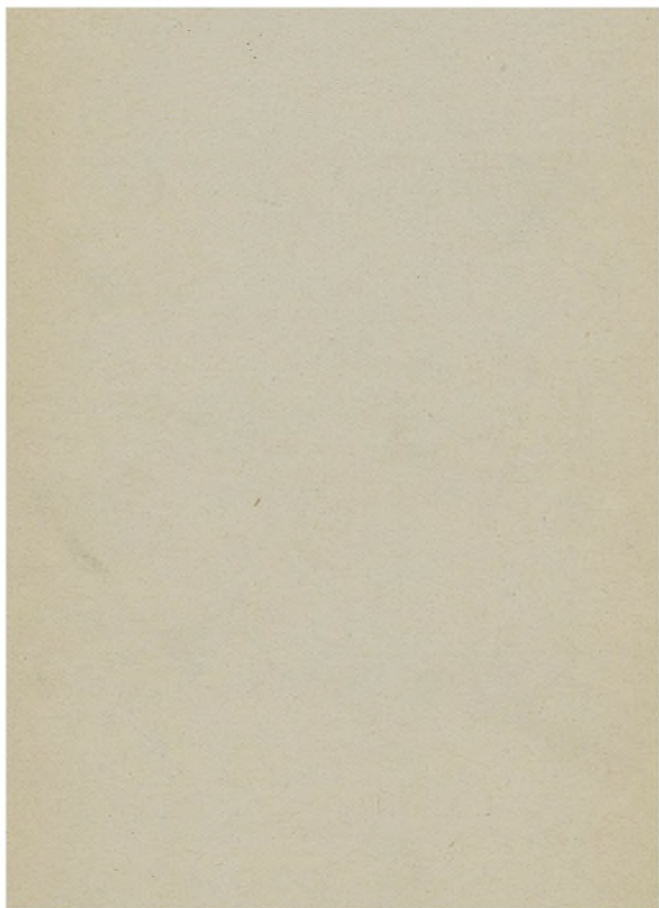


ALFRED SOULIER

LES
INSTALLATIONS
ÉLECTRIQUES

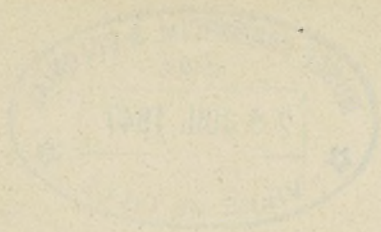
GARNIER FRÈRES ÉDITEURS





N-16
R-3

N° Iris 388537 / -165105



LES
INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

A LA MÊME LIBRAIRIE

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

Traité pratique d'électricité (10^e édition). — Piles. Sonneries électriques. Téléphones. Éclairage électrique. Rayons X. Télégraphie sans fil. Prix broché : 2 fr. Cartonné..... 2 fr. 50

Le Manuel de l'Électricien. (5^e édition). — Traité pratique des machines dynamo-électriques. Construction des machines. Installation. Entretien. Dérangements. Un vol. in-12, 278 pages, 98 figures. Prix broché : 2 fr. Relié toile..... 2 fr. 50

Les grandes applications de l'électricité. (5^e édition). — L'éclairage électrique. Transmission de la force motrice à distance. Tramways et chemins de fer électriques. Extraction des métaux. Fabrication des couleurs. Prix broché : 2 fr. Cartonné 2 fr. 50

Traité de Galvanoplastie. — Sources de courant. Préparation des pièces. Cuivrage. Nickelage. Argenture. Dorure. Reproduction des objets. Moulages. Recettes pratiques. Prix broché : 2 fr. Cartonné..... 2 fr. 50

*Ouvrages honorés d'une souscription du Ministre
de l'Instruction publique.*

En préparation : Les Moteurs électriques. — Construction. Installation. Entretien. Mise en marche.

A

LES
INSTALLATIONS
ÉLECTRIQUES

PAR

ALFRED SOULIER

INGÉNIEUR-ÉLECTRICIEN-CONSEIL

Ex-Chef du Service Électrique
de la Section technique de l'Artillerie,
Secrétaire de la Rédaction de *l'Industrie Électrique*
Professeur d'Électricité Industrielle

Transformateurs électriques.

Appareils de mesures électriques.

Appareillage électrique.

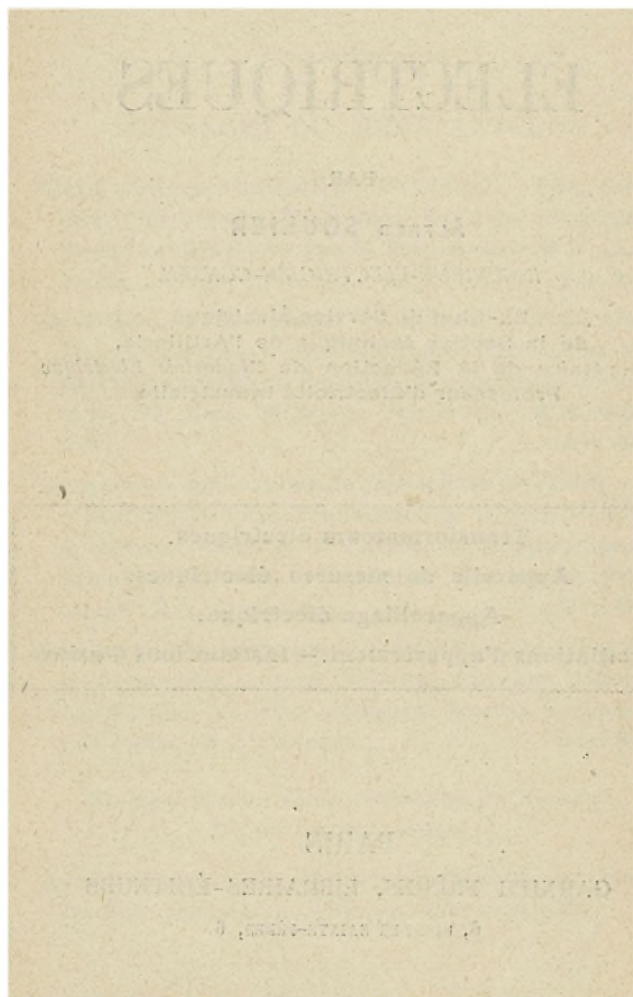
Installations d'appartement. — Installations d'usines

PARIS

GARNIER FRÈRES, LIBRAIRES-ÉDITEURS

6, RUE DES SAINTS-PÈRES, 6

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



PRÉFACE

La rapidité avec laquelle se sont enlevées les éditions successives de nos premiers ouvrages, nous a engagé à continuer dans la voie que nous nous étions tracée, qui consistait à ne donner que des renseignements essentiellement pratiques ayant reçu la sanction de l'expérience.

Ce nouveau livre qui est en somme la suite de notre *Traité des machines dynamo-électriques* ne fait pas exception à la règle, il forme même le complément indispensable de nos précédents ouvrages, ainsi que l'on s'en rendra compte.

Les transformateurs électriques que l'on rencontre très fréquemment aujourd'hui par suite de la grande extension que prennent les installations à courants alternatifs, ont été exposés sans calculs, mais d'une façon détaillée et très simple. De même les appareils de mesures électriques dont tout le monde a besoin de connaître le fonctionnement et le mode d'emploi ont été presque tous décrits; des schémas ren-

des aussi clairs que possible en montrant la structure intérieure ainsi que la façon de les employer et de les étalonner.

Enfin les installations électriques qui doivent être l'objet de soins minutieux sont également traitées au point de vue pratique avec l'énumération des difficultés qui peuvent se présenter et le moyen de les surmonter.

L'appareillage électrique qui joue un grand rôle dans le bon fonctionnement des circuits électriques a également été étudié avec soin ; comme il était impossible de décrire toutes les formes d'appareils, nous nous sommes contentés d'indiquer les modèles les plus importants en signalant les données pratiques qui doivent présider au choix ou à l'établissement de bons appareils.

Il restait à traiter un chapitre très important aujourd'hui, celui des moteurs électriques à courant continu ou à courant alternatif, mais vu son importance nous lui consacrons un ouvrage spécial.

PREMIÈRE PARTIE

Transformateurs électriques

CHAPITRE PREMIER

Transformateurs de courant alternatif

But des transformateurs. — La transmission de l'énergie n'a pu se faire pratiquement que depuis que l'on possède des transformateurs simples et à bon rendement, lesquels permettent de passer facilement de la haute à la basse tension.

Pour franchir économiquement de grands espaces et employer des fils aussi minces et peu coûteux que possible, il faut employer des courants à très haute tension, mais ces courants à part qu'ils sont très dangereux, ne peuvent alimenter directement les lampes à incandescence ou à arc que l'industrie ne construit pas pour les très hautes tensions. Force est donc d'employer un *transformateur* dont le rôle est de réduire cette tension et de mettre à la disposition du consommateur un courant moins dangereux et mieux adapté à ses besoins.

Le premier transformateur est la bobine de Ruhmkorff, mais cet appareil résoud un autre problème que celui que nous avons indiqué. Ruhmkorff envoyait dans sa bobine le courant de deux ou trois éléments de pile Bunsen (quelques volts seulement) et ce courant haché en quelque sorte par le trem-

bleur induisait dans le fil fin de la bobine un courant de très haute tension (plusieurs milliers de volts et très peu d'ampères). La tension de ce courant était telle (1) qu'il s'élançait à travers l'air sous forme d'étincelles, ce que ne pouvait pas faire évidemment le courant de la pile qui ne possède une tension que de quelques volts seulement.

Industriellement, le cas qui se présente est le cas inverse; une chute d'eau placée au milieu des montagnes, loin de tout centre habité, est captée par un barrage et utilisée dans des turbines; ces turbines actionnent à leur tour des dynamos à courant alternatif à haute tension, 10.000 volts par exemple. C'est à cette tension ou à une autre plus élevée encore que par des fils convenablement isolés on envoie le courant dans les villes avoisinantes.

A l'entrée de chaque ville, on place un transformateur analogue comme construction à la bobine de Ruhmkorff, c'est-à-dire possédant un enroulement à fil très fin et très long, capable de supporter la haute tension de 10.000 volts. Au-dessus, ou à côté un enroulement à fil plus gros et plus court calculé pour ne donner que 110 ou 120 volts, juste assez pour alimenter nos lampes à incandescence ou à arc.

C'est la construction, le montage et l'emploi de ces transformateurs que nous allons examiner.

Principe. — On sait (fig. 1) que si on approche un aimant NS d'une bobine de fil de cuivre isolé relié par ses extrémités à un galvanomètre, on voit au moment

(1) On compte qu'il ne faut pas moins de 1000 volts pour franchir dans l'air un intervalle de *un* millimètre, ce qui fait que les étincelles que l'on observe sur les bobines et machines électriques indiquent la présence d'une tension de plusieurs milliers de volts.

où l'aimant pénètre dans la bobine, l'aiguille du galvanomètre dévier de la position O à une position A, indiquant le passage d'un courant d'un certain sens, puis quand on retire l'aimant, l'aiguille dévie en sens inverse de O à la position B, indiquant la présence d'un courant de sens contraire du premier. En introduisant et en sortant rapidement l'aimant, on obtient ainsi un courant alternatif, c'est le principe même des dynamos.

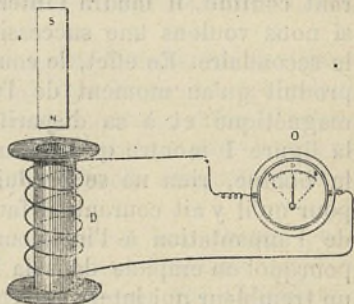


Fig 1. — Production d'un courant par le déplacement d'un aimant.

Mais au lieu d'introduire un aimant au centre de la bobine, plaçons une bobine semblable et envoyons dans cette bobine par les extrémités A et B un courant électrique (fig. 2); on sait qu'un courant circulant dans une bobine transforme cette dernière en un aimant, c'est le principe de l'électro-aimant.

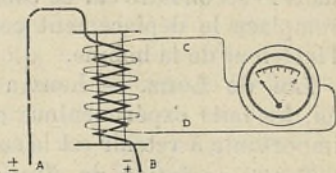


Fig. 2. — Induction d'un courant par un autre courant.

Donc l'aimant que nous faisons apparaître et disparaître en envoyant un courant électrique dans la bobine par les fils A et B va provoquer la naissance d'un courant alternatif dans la bobine CD qui l'enveloppe tout comme précédemment.

Ainsi donc, le passage du courant dans l'enrou-

lement AB que nous appellerons le *primaire* fait naître un courant passager dans l'enroulement CD que nous désignerons sous le nom de *secondaire*. Si le courant que nous envoyons en AB est un courant continu, il faudra l'interrompre fréquemment si nous voulons une succession de courants dans le secondaire. En effet, le courant secondaire ne se produit qu'au moment de l'apparition du champ magnétique et à sa disparition. L'expérience de la figure 1 montre que si on laisse l'aimant dans la bobine, rien ne se produit dans le secondaire, pour qu'il y ait courant, il faut qu'il y ait variation de l'aimantation à l'intérieur de la bobine. Voilà pourquoi on emploie dans la bobine de Ruhmkorff un trembleur qui interrompt périodiquement le courant continu dans le primaire, ce qui provoque une succession de courants induits dans le secondaire.

Mais si au lieu d'un courant continu interrompu, nous envoyons dans le primaire AB un courant alternatif, nous obtiendrons un courant analogue dans le secondaire car ce courant alternatif primaire remplace le déplacement continu d'un aimant à l'intérieur de la bobine.

Loi de Lenz. — Lenz a énoncé sous forme de loi, les faits expérimentaux ci-dessus ; cette loi très importante à retenir est la suivante :

Toute variation du flux magnétique embrassé par un circuit détermine un courant induit dont le sens est tel qu'il tend constamment à s'opposer à la variation de ce flux.

Ainsi donc, quand le courant va en augmentant dans le circuit primaire A B, il produit une aimantation croissante à l'intérieur de la bobine qui donne à son tour naissance dans le secondaire à une force

électromotrice induite; c'est ce que l'expérience nous permet de constater.

Si on ferme le circuit secondaire sur lui-même, en intercalant un ampèremètre, le courant induit qui prend naissance a un sens tel qu'il tend à produire un champ magnétique de sens inverse à celui qui lui a donné naissance.

Il en résulte ce point capital dans l'étude des transformateurs, qu'à mesure que le circuit secondaire débite et fournit du courant, il démagnétise le noyau, ce qui entraîne un appel de courant dans le circuit primaire pour rétablir le champ magnétique à sa valeur primitive.

Ainsi donc, un transformateur non chargé ou à *vide* absorbera peu de courant, tandis qu'il en demandera davantage au réseau qui l'alimente à mesure que l'on fera travailler son secondaire.

Voyons maintenant comment on peut passer d'une haute tension à une basse tension et inversement.

Reprenons l'expérience de la fig. 1 et remplaçons le fil de notre bobine par un fil deux fois plus long. Si nous avons eu soin de nous servir comme galvanomètre d'un voltmètre, nous verrons que le fait d'avoir augmenté la longueur du fil a fait augmenter aussi la tension en volts que produit cette bobine pour un même déplacement de l'aimant à l'intérieur.

Du reste Ruhmkorff l'avait si bien compris, que pour obtenir les milliers de volts nécessaires à la production des étincelles de sa bobine, il constituait le secondaire par un fil très long et très fin.

Sur le primaire où nous n'admettons que peu de volts et beaucoup d'ampères, nous mettrons un fil gros et court.

Quelle est la proportion de fil entre ces deux enroulements? Elle est bien simple; elle est comme

le rapport des tensions ; ainsi, par exemple, un transformateur marchant sous 10.000 volts et possédant 20.000 tours de fil sur la haute tension, n'aura besoin que de 200 tours de fil sur le circuit à 100 volts.

Si par exemple, cet appareil doit desservir 500 lampes de 16 bougies qui prennent chacune un demi-ampère l'enroulement à 100 volts devra pouvoir laisser passer 250 ampères, et le fil devra avoir au moins 12 millimètres de diamètre.

La puissance apparente de ce transformateur est donc de :

$$250 \text{ ampères} \times 100 \text{ volts} = 25.000 \text{ watts,}$$

le secondaire qui marche sous 10.000 volts devra donc pouvoir supporter un courant de $\frac{25.000}{10.000}$ soit 2,5 ampère ; un fil de un à deux millimètres de diamètre sera largement suffisant.

On voit très nettement ici l'avantage des hautes tensions. Pour transmettre au loin une puissance de 25.000 watts, soit 30 ou 40 chevaux, il faudrait si on employait du courant à 100 volts, un fil de 12 millimètres de diamètre capable de supporter les 250 ampères qui, avec 100 volts, font 25.000 watts.

Or un fil de deux millimètres de diamètre, suffit si on utilise du courant à 10.000 volts, pour peu que la ligne, ait plusieurs kilomètres de long, cette élévation de la tension procurera une économie considérable, même en comptant le prix des transformateurs qui deviennent nécessaires.

On voit tout de suite combien le transformateur est précieux dans l'industrie, cet appareil inerte et à bon rendement permettant de passer facilement et instantanément d'une haute à une basse tension ; il est de plus *auto-régulateur*, ne prenant à vide que le courant nécessaire à l'aimantation de son noyau et

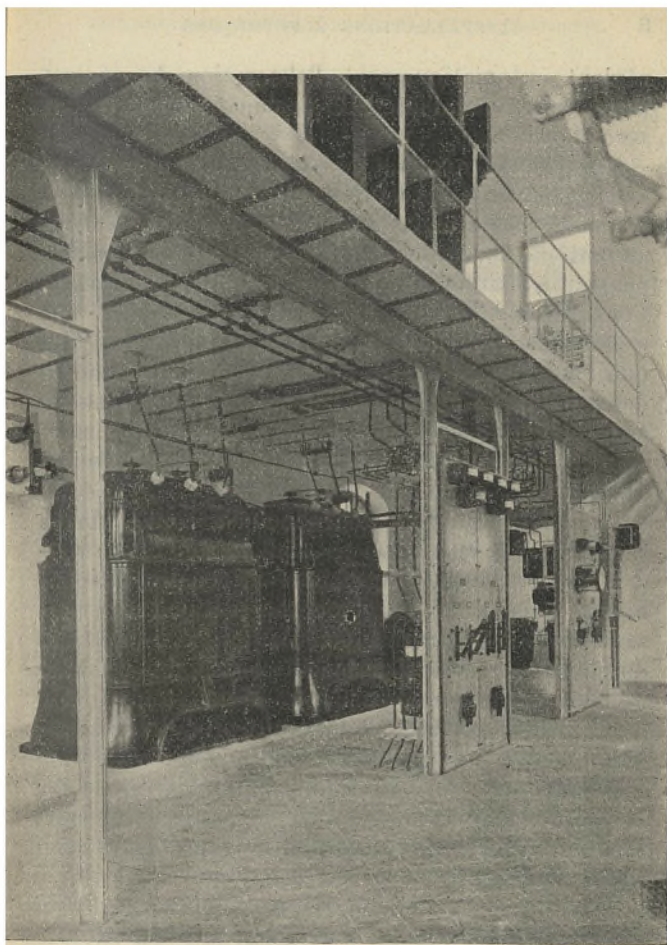


Fig. 3. — Vue intérieure d'une usine montrant l'installation de deux transformateurs de grande puissance.

réglant automatiquement l'absorption du courant primaire suivant l'intensité demandée à son circuit secondaire.

Ces grandes qualités de plus en plus appréciées, ont fait la vogue des courants alternatifs ; il en résulte que toutes les grandes installations modernes n'emploient plus que des courants de cette nature qui peuvent s'adapter aujourd'hui à toutes les applications (fig. 3).

Rôle du fer dans les transformateurs. — Tel que nous l'avons décrit, le transformateur formé de deux bobines emboîtées l'une dans l'autre est un appareil purement théorique qui aurait un bien mauvais rendement avec les courants alternatifs industriels.

Tous les transformateurs actuels sont bobinés sur un noyau en fer doux, dont le rôle est de concentrer le champ magnétique au centre des bobines. Sans le fer, ce champ magnétique se disperserait dans l'air et serait bien mal utilisé, la présence du noyau de fer très perméable aux lignes de force sortant des bobines, a pour résultat de retenir toutes ces lignes au centre et de leur faire produire le maximum d'effet.

Mais on ne peut pas employer un noyau de fer doux quelconque ; ainsi si l'on introduisait un morceau de fer massif, on ne tarderait pas à constater son échauffement rapide.

A quoi tient ce phénomène ? Aux courants induits appelés partout *courants de Foucault*. En effet, le courant alternatif circulant dans les bobines, induit des courants non seulement dans la bobine secondaire, mais encore dans toutes les masses métalliques voisines. Les courants parasites qui prennent naissance à l'intérieur des masses métalliques les échauf-

fent et c'est précisément le cas d'un bloc de fer doux que l'on introduit au milieu des bobines. Comment faire pour les éviter?

C'est bien simple, il n'y a qu'à s'opposer à leur passage en découpant le fer en petites lamelles que l'on sépare les unes des autres par du papier.

Mais ce n'est pas tout; pour si fines que soient, les lamelles, et pour si bien isolées qu'elles soient, le fer s'échauffe encore, beaucoup moins cependant qu'auparavant. La cause de cette élévation de température doit être cherchée dans le phénomène d'aimantation et de désaimantation rapides. Le métal vibre et l'on suppose que ses molécules formant autant d'aiguilles aimantées changent d'orientation à chaque inversion du courant, ce qui amène un échauffement.

Ce phénomène est appelé *hystérésis*, parce qu'il est dû au retard qui se produit dans l'aimantation de toutes les molécules du fer; il est d'autant moins accentué que ce fer est plus facile à aimanter, autrement dit, il est très fort avec l'acier trempé et devient petit dans le fer très doux.

Comme conséquence, le fer des transformateurs devra être choisi aussi doux que possible; il sera constitué en pratique par des tôles très minces ayant à peine 3 à 4 dixièmes de millimètre d'épaisseur.

Constitution des transformateurs industriels.

— Dans les transformateurs industriels, nous trouverons toujours trois parties :

- 1° Le noyau de fer formant le circuit magnétique;
- 2° L'enroulement primaire;
- 3° L'enroulement secondaire.

Les premiers transformateurs calqués sur la bobine de Ruhmkorff comportaient un simple noyau de fer passé dans l'axe des enroulements. C'est Gau-

lard qui construisit le premier transformateur industriel à circuit magnétique fermé. Au lieu de prendre un simple noyau de fer droit, il le recourba en forme d'anneau, de façon à mieux diriger les lignes de force et à empêcher qu'elles ne passent dans l'air.

L'air est on le sait très peu perméable aux lignes de force; le fer, au contraire, tant qu'il n'en est pas saturé, les absorbe toutes. On voit que le rendement de l'appareil sera très bon, si l'on n'en laisse point

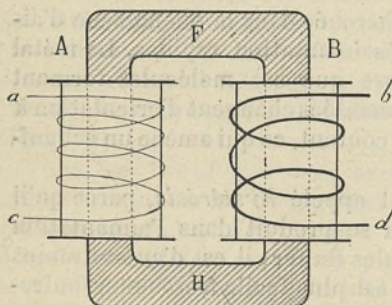


Fig. 4. — Schéma d'un transformateur.

perdre, et c'est le cas ou à peu près du circuit magnétique fermé.

Gaulard construisit en 1884 les premiers transformateurs industriels (1), ayant déjà un bon rendement, ces appareils fonctionnèrent

longtemps dans la même installation, mais comme la vogue était alors au courant continu, Gaulard resta oublié mais son invention devait lui survivre.

Sur le noyau de fer FH (fig. 4), on peut enrouler une bobine primaire *ac*, et une bobine secondaire *bd*; il existe un certain nombre de transformateurs de cette forme, mais en général, on préfère employer la solution par bobines concentriques de la fig. 5, où sur la

(1) Gaulard avait donné le nom de *générateurs secondaires* à ses appareils; c'est à Hospitalier que l'on doit le mot beaucoup plus juste et plus expressif de *transformateur*.

même partie du noyau de fer sont enroulés d'abord un primaire, et au-dessus un secondaire. Les enroulements sont plus difficiles à loger et à réaliser, mais la disposition est meilleure que la précédente.

En effet, dans la disposition, fig. 4, tant que le fer n'est pas saturé, il conduit les lignes de force de la bobine *a* à la bobine *b* ou inversement, mais s'il

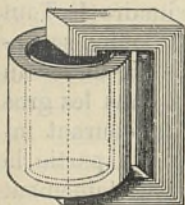


Fig. 5.
Transformateur
à bobines concentriques.

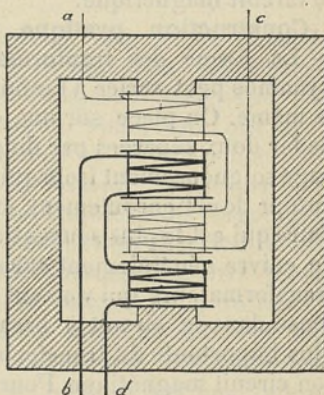


Fig. 6. — Transformateur à
bobines alternées.

approche de la saturation, à mesure par exemple que l'intensité des courants induits augmente dans l'enroulement secondaire (courants produisant d'après la loi de Lenz un flux tendant à contrarier celui de l'enroulement primaire) le fer devient moins perméable et une partie des lignes de force peuvent sauter de *F* en *H* sans traverser les bobines; le transformateur est dit à *fuites*.

Une autre forme qui est aussi employée consiste à alterner sur un même noyau les bobines primaires et secondaires; on voit au seul aspect de la figure 6

comment ce montage est réalisé. L'enroulement à basse tension *bd* est figuré en gros fil, l'enroulement à fil fin *ac* ou à haute tension est représenté en fil plus fin. Le noyau central sur lequel sont enfilées les diverses bobines est encastré dans un cadre formé de tôles douces isolées par du papier comme le noyau lui-même. Ce cadre a pour rôle de fermer le circuit magnétique.

Construction pratique des transformateurs.

— La forme des transformateurs comme celle des dynamos peut varier à l'infini, mais le principe reste le même. On place sur une colonne formée de tôles de fer doux séparées par du papier un premier bobinage soigneusement isolé qui est le primaire (1). Tout autour de cet enroulement, on enfile la bobine secondaire qui est le plus souvent constituée par un ruban de cuivre généralement enroulé à plat dans les gros transformateurs qui doivent fournir un courant intense dans le circuit à basse tension. La partie la plus importante du transformateur est certainement son circuit magnétique. Pour obtenir de l'appareil un rendement aussi bon que possible, il faut rendre très faibles les pertes dans le fer qui sont dues à deux causes :

- 1° Les courants de Foucault ;
- 2° L'hystérésis.

La diminution et même la suppression des courants de Foucault est obtenue en divisant le noyau en lames minces que l'on isole l'une de l'autre par du vernis ou du papier.

(1) Le fil fin qui représente l'enroulement secondaire dans la bobine de Ruhmkorff devient l'enroulement primaire dans un transformateur recevant d'un réseau le courant à haute tension. On peut donc dire que le primaire est le bobinage qui reçoit le courant d'alimentation et le secondaire celui qui fournit le courant d'utilisation.

Le phénomène d'hystérésis étant d'autant moins accentué que le fer est plus doux, on recherchera parmi les nombreuses qualités de tôles celles qui donnent la plus petite perte par hystérésis. MM. Blondel et Carpentier ont construit dans ce but un instrument très pratique qui permet de faire rapidement cet essai et de rejeter les tôles trop mauvaises.

L'épaisseur que l'on prend varie entre 3 et 5 dixièmes de millimètre; il en faut donc superposer un grand nombre pour avoir l'épaisseur nécessaire; on les découpe suivant le contour voulu avec une machine spéciale qui a la forme d'un emporte-pièce de grandes dimensions et après les avoir vernies ou isolées avec du papier, on les empile et on les soumet à la presse hydraulique. Pendant qu'elles sont ainsi pressées, on introduit des boulons, dont les tiges sont isolées par de la fibre vulcanisée ou du mica, dans des trous faits dans les tôles au moment du découpage; on serre les écrous que l'on isole des tôles par des rondelles de mica, et on peut alors supprimer l'action de la presse hydraulique, car on a un bloc solidement assemblé.

En vue de permettre l'introduction facile des bobines, les noyaux de fer sont généralement établis en plusieurs parties qu'il suffira d'assembler une fois qu'on les aura pourvus de leurs bobines.

Un transformateur de la forme de celui de la figure 6 pourra être constitué de deux parties : 1° Un cadre rectangulaire, 2° un noyau dont la longueur sera telle qu'il puisse se loger à frottement dur entre les côtés du cadre.

L'assemblage doit être l'objet de soins particuliers, car il faut toujours chercher à réaliser un bon joint magnétique. L'air étant très peu perméable aux

lignes de force, on devra faire en sorte qu'il ne s'en trouve pas sur le trajet; pour cela, les extrémités du noyau portant les bobines seront rabotées soigneusement ainsi du reste que les faces intérieures du cadre, de façon à avoir un contact aussi parfait que possible entre le noyau de fer et le cadre qui l'entoure. On peut aussi intercaler alternativement les feuilles de tôle à raccorder.

Les bobines sont généralement faites avec du fil de cuivre rouge de haute conductibilité recouvert de deux couches de coton que l'on imprègne pendant le bobinage de vernis à la gomme laque (1) ou de bitume de Judée. Le fil est ordinairement enroulé sur un moule ou gabarit en bois en deux pièces qui a la forme extérieure de la bobine, puis quand on a enroulé le nombre voulu de spires, on défait le moule et il reste une bobine rectangulaire ou ronde.

Pour protéger les fils et augmenter encore l'isolement, on enroule un ruban de toile huilée spéciale autour du faisceau de fils ainsi constitué en ne laissant sortir que les deux extrémités que l'on peint de couleurs différentes pour les distinguer.

L'enroulement à haute tension nécessite un isolement des plus soigné; dans certains cas, on le plonge dans de la paraffine et dans les transformateurs pour très hautes tensions, 30.000 ou 50.000 volts, on immerge tout le transformateur dans de l'huile spéciale.

Ce procédé permet aux enroulements de supporter de hautes tensions, car l'huile s'introduit dans tous les interstices dont elle expulse l'air et évite les

(1) Le vernis à la gomme laque s'obtient en faisant macérer dans de l'alcool des feuilles de gomme laque; on agite de temps en temps et au bout d'un jour ou deux, on a un liquide épais qu'il suffit d'appliquer au pinceau sur les enroulements à protéger.

ruptures en s'opposant au passage des étincelles ou effluves. Du reste, y aurait-il un point faible provoquant un court-circuit entre spires par exemple, que l'huile viendrait aussitôt s'interposer et empêcherait le défaut de s'étendre.

Pour faciliter le montage, les enroulements ne sont pas d'une seule pièce, mais constitués par des bobines en forme de galettes que l'on assemble.

Il faut bien faire attention au moment du montage de relier le bout sortant d'une bobine au bout entrant de la suivante; si par mégarde, on reliait deux bouts entrant ensemble, les courants circulant dans les bobines se contrarieraient et le transformateur ne donnerait plus la tension pour laquelle il a été établi. C'est pour cela qu'au moment du bobinage on doit peindre de couleurs différentes les deux bouts de chaque bobine.

Malgré toutes les précautions et les soins dont on entoure la construction des transformateurs ces appareils s'échauffent toujours un peu. Cela n'a pas d'importance pour les petits transformateurs qui arrivent toujours à évacuer dans l'air environnant la chaleur que leur communique le passage du courant, mais pour les gros appareils, il n'en est plus de même, et le noyau de fer en particulier enveloppé par les bobines se refroidit très mal. Il en résulte que l'on est obligé de ménager au milieu des tôles des canaux dits de *ventilation* qui permettent à l'air de circuler comme dans une cheminée et d'empêcher ainsi un échauffement exagéré. Certains transformateurs ont même leurs noyaux à section en forme de croix entre les branches de laquelle on insuffle de l'air, ce qui facilite le refroidissement.

Enfin, dans les puissants transformateurs à très haute tension que l'on est obligé d'immerger dans

l'huile pour maintenir en bon état d'isolement, le refroidissement par l'air ne pouvant plus se faire, on évite l'échauffement par une circulation d'eau.

Un serpentín placé dans l'huile reçoit l'eau sous pression, ce qui a pour effet d'enlever à l'huile la chaleur que lui communique le transformateur (fig. 9).

Données sur les transformateurs modernes. — La *puissance* des transformateurs modernes est très variable; comme pour les dynamos, on construit de ces appareils depuis quelques centaines de watts jusqu'à 500 kilowatts et même plus pour les grandes installations.

Les *tensions* les plus courantes sont 2.000, 3.000 ou 5.000 volts sur le primaire, mais on construit des appareils se branchant sur 30.000 ou même 50.000 volts. Enfin, dans bien des laboratoires, pour l'essai des isolants, on emploie des transformateurs donnant 100.000 volts et même plus.

Le *rendement* des transformateurs est en général très bon; il atteint à pleine charge 90 à 97 p. 100, à demi-charge 85, à 95 p. 100 et à quart de charge 80 à 92 p. 100. A vide, les transformateurs consomment 2 à 3 p. 100 de leur puissance normale.

Facteur de puissance. — Lorsqu'on emploie des courants alternatifs, on observe ce fait qui peut paraître bizarre à première vue, que la puissance absorbée par un moteur ou par un transformateur n'est plus égale au produit de l'intensité mesurée en ampères par la différence de potentiel mesurée en volts. Ce qui était exact pour le courant continu ne l'est plus avec le courant alternatif.

Ce fait tient à ce que les circuits des moteurs et des transformateurs offrent au passage du courant une sorte de résistance apparente appelée *réactance*, qui tient à la self-induction de ces circuits.

Il en résulte que l'intensité est en retard sur la force électromotrice qui lui a donné naissance; ce qui pourrait faire dire en langage plus imagé, que les volts n'apparaissent pas en même temps que les ampères.

Dans certains appareils, on peut même arriver à ce que le courant ait son intensité maxima, quand la différence de potentiel est nulle et inversement.

On dit dans ces cas, que le courant est *décalé* sur la force électromotrice; lorsque le décalage augmente la puissance *réelle* devient de plus en plus petite, tandis que la *puissance apparente*, celle mesurée par le produit des indications d'un voltmètre par un ampèremètre peut être très importante.

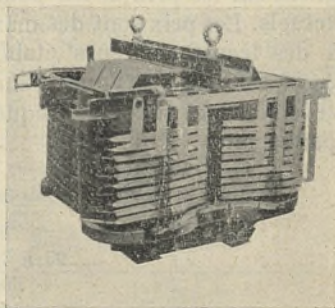


Fig. 7. — Vue d'ensemble d'un transformateur.

Le rapport de la puissance réelle à la puissance apparente est appelé *facteur de puissance*. Dans les transformateurs, ce rapport est voisin de 0,75.

La *puissance apparente* résultant du produit des indications d'un voltmètre par celles d'un ampèremètre s'évalue en *volt-ampères*, ou si le nombre est trop grand en *kilovolt-ampères*.

La *puissance réelle*, celle qui est intéressante dans le cas d'un moteur, se mesure en *watts* ou en *kilowatts*.

Les constructeurs indiquent souvent la puissance de leurs appareils en *volt-ampères* ou *kilovolt-*

ampères, afin de mieux indiquer le nombre de volts et d'ampères qu'on peut leur appliquer sans danger.

On indique aussi par le terme $\cos \varphi$ le facteur de puissance, et on dit que $\cos \varphi$ est de 0,75, lorsqu'il faut multiplier par ce chiffre le produit de l'intensité par la différence de potentiel pour avoir la *puissance réelle* de l'appareil.

Nous donnons ci-dessous un tableau qui renseignera sur les prix et les poids des transformateurs actuels. Les prix sont des maxima; ils correspondent à des transformateurs établis pour une tension de 2.000 à 20.000 volts au primaire et 100 à 200 volts au secondaire et pour une fréquence de 40 à 50 périodes par seconde.

Puissance en kilowatts	Poids en kg	Prix en francs
0,5	50	200
1	65 à 70	250
2	90	320
5	150	570
10	250	900
15	350	1.170
20	450	1.500
30	650	2.000
50	1.000	2.900
75	1.350	4.000
100	1.600	5.000

Consommation à vide des transformateurs. —

Un fait très curieux a été signalé à ce sujet; on a remarqué que la consommation à vide augmentait avec le temps. C'est ainsi que la dépense à vide, au bout de 5 à 10 ans, varie de 1 fois 1/2 à 2 fois 1/2 la consommation au moment de la mise en service.

En particulier, des transformateurs d'une puissance de 7, 5 kilowatts installés dans un secteur de Paris

Poids et rendements. — Le tableau ci-dessous résume les poids et rendements à pleine charge non inductive (en centèmes) d'un certain nombre de transformateurs (*Formulaire de l'électricien d'Hospitaller par C. Roux*).

PUISSANCE EN KILOWATTS	COURANTS ALTERNATIFS SIMPLES						COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASÉS							
	ORLIKON		PACKARD		COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE NANCY		DECAUVILLE		COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE NANCY		LAHMEYER		ÉLECTRICITATS ACTIEN GESELLSCHAFT KOLBEN	
	POIDS	RENDEMENT	POIDS	RENDEMENT	POIDS	RENDEMENT	POIDS	RENDEMENT	POIDS	RENDEMENT	POIDS	RENDEMENT	POIDS	RENDEMENT
1	»	2	68	95	60	91	80	92,5	»	»	150	91	100	92
2	130	92,5	97	16	90	93	155	94	»	170	170	92	155	92
3	»	»	132	96,5	»	»	»	»	170	93,4	»	93	»	»
4	320	94	155	96,5	160	95	280	94	»	»	350	»	280	93
5	»	»	182	96,7	320	96	400	96	»	»	450	93,5	450	95
10	320	95	286	97,3	370	95	»	»	»	»	565	95	»	»
15	»	»	368	97,3	420	96,5	»	»	»	»	655	95,5	»	»
20	570	95,5	523	87,5	550	96,5	722	97,5	»	»	720	»	»	»
25	»	»	637	97,5	670	96,5	»	»	»	»	980	96,5	»	96,5
30	675	96	682	97,5	800	97	1000	97,5	1200	96,5	870	96	1000	96,5
40	»	»	»	»	1100	97	»	»	1800	96,5	2010	96	1250	97
50	910	96,5	»	»	»	»	»	»	»	»	1575	»	1700	97
65	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
75	1200	97	»	»	»	»	»	»	»	»	1825	96,5	»	»
80	»	»	»	»	1500	97	»	»	2400	97	2400	97,5	2100	97
100	1600	97	»	»	1700	97	»	»	3250	97,5	2100	97	»	»
125	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2400	97	»	»
150	2000	97	»	»	»	»	»	»	3700	97,5	2800	97	»	»

consommaient au début 240 watts à vide ; au bout de 7 ans, ils consommaient 350 watts.

D'autres transformateurs de 10 kilowatts ont passé de 280 à 450 watts et même 500 watts au bout de 6 ans ; enfin des transformateurs de 20 kilowatts ont vu leur dépense s'élever de 380 watts à 850 watts, certains sont même arrivés de 950 watts (1).

A titre d'exemple nous donnerons les dimensions, poids et constantes de deux types de transformateurs calculés l'un pour fonctionner avec du courant alternatif à 70 périodes par seconde, l'autre à 42 périodes par seconde.

	Transformateur de 22 kw à 70 périodes	Transformateur de 7,5 kw à 42 périodes
Longueur moyenne du circuit magnétique en cm.....	145	94
Section transversale du circuit magnétique en cm ²	95	130
Volume total du fer en cm ³	13.700	12.180
Poids du fer en kg.....	96	95
Nombre de spires du circuit primaire.	680	1.080
— — — secondaire.	34	60
Différence de potentiel aux bornes du primaire en volts.....	2.000	1.926
Différence de potentiel aux bornes du secondaire en volts.....	100	105
Résistance du circuit primaire en ohm	0.97	4.2
— — — secondaire —	0.003	0.0135
Poids du cuivre en kg.....	» »	40
Intensité dans le primaire à vide en ampères.....	0.5	0.17

(1) HOSPITALIER, *Formulaire de l'Électricien*, 1907.

CHAPITRE II

Montage des transformateurs.

Les transformateurs étant des appareils inertes et à bon rendement peuvent être placés partout et ne demandent aucune surveillance. Les transformateurs de quelques kilowatts s'installent dans des caves ou dans des greniers, quelquefois même sur des poteaux (fig. 8) et en général partout où le passage de la haute tension à la basse tension s'impose.

Si la puissance à transformer est un peu grande, les transformateurs sont groupés dans un local ou *sous-station* qui contient également les tableaux de distribution et autres appareils indispensables pour le couplage.

Quoique à bon rendement un transformateur de 100 kilowatts consomme près de 5 kilowatts qui sont dissipés sous forme de chaleur; il en résulte que si une salle contient plusieurs transformateurs de cette puissance, la température ne tardera pas à s'élever, les transformateurs jouant le rôle d'autant de calorifères. On est donc conduit à ventiler le local ou mieux à insuffler de l'air autour des transformateurs.

Or, comme ces derniers comportent presque toujours entre les enroulements et le fer des canaux de

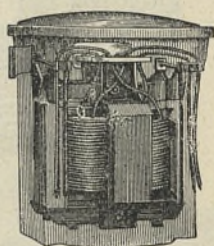


Fig. 8. — Transformateur pour poteau.

ventilation, on a intérêt à refouler l'air dans ces canaux, ce qui permettra de mieux refroidir le noyau magnétique centre de l'échauffement.

Ce résultat est obtenu en disposant les transformateurs au-dessus d'une canalisation dans laquelle un ventilateur refoule de l'air. Enfin, dans les très gros transformateurs de plusieurs centaines de kilo-

watts, on emploie, comme nous l'avons dit précédemment, une circulation d'eau qui refroidit l'huile dans laquelle baigne le transformateur (fig. 9).

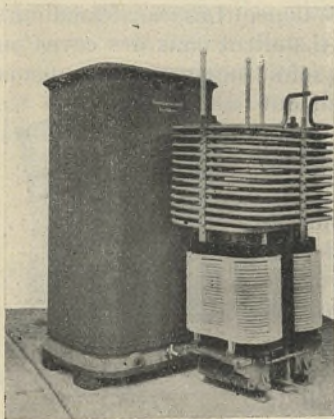


Fig 9. — Transformateur de grande puissance à isolement par l'huile refroidi par une circulation d'eau.

Dispositifs de sécurité. — Lorsqu'un transformateur doit desservir un ensemble d'abonnés groupés sur un réseau à basse tension, à 110 ou 120 volts par exemple, il est de nécessité que dans le cas où l'enroulement à 110 volts

viendrait accidentellement en contact avec, le bobinage à haute tension, que le courant soit supprimé sur l'appareil. On comprend aisément que s'il n'en était pas ainsi, les abonnés seraient en relation avec le réseau à haute tension, et ils risqueraient fort d'être électrocutés. Divers moyens sont employés : citons :

1° On peut se contenter d'intercaler une feuille de métal entre les deux enroulements, cette feuille étant

reliée à la terre (fig. 10). Si un contact tend à se produire entre le primaire et le secondaire, la feuille de

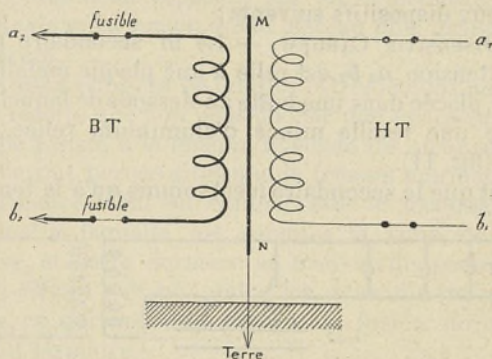


Fig. 10. — Premier dispositif de protection d'un transformateur.

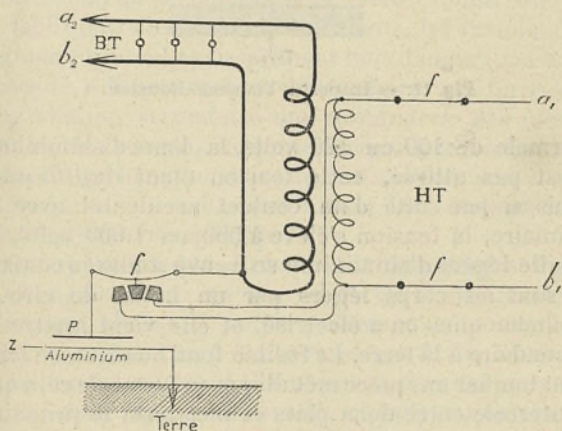


Fig. 11. — Dispositif Cardew.

métal participe à ce contact et dirige vers le sol le courant à haute tension, les fils fusibles du coupe-

circuit d'entrée sautent et l'installation est protégée.

Ce moyen est un peu primitif, et on lui préfère un des deux dispositifs suivants :

2° DISPOSITIF CARDEW. — Le fil secondaire ou à basse tension $a_2 b_2$ est relié à une plaque métallique isolée, placée dans une boîte au-dessous de laquelle se trouve une feuille mince d'aluminium reliée à la terre (fig. 11).

Tant que le secondaire n'est soumis qu'à la tension

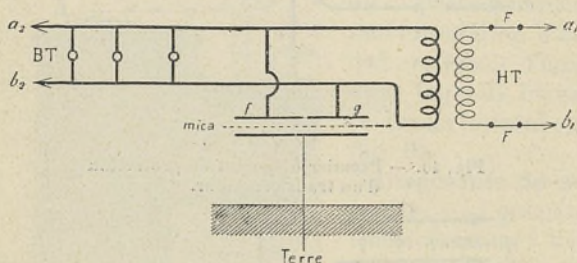


Fig. 12. — Dispositif Thomson-Houston.

normale de 100 ou 120 volts, la lame d'aluminium n'est pas attirée, cette tension étant insuffisante, mais si par suite d'un contact accidentel avec le primaire, la tension s'élève à 500 ou 1.000 volts, la feuille légère d'aluminium se trouve soulevée comme le sont les corps légers par un bâton de cire à cacheter que l'on a électrisé, et elle vient mettre le secondaire à la terre. Le fusible fond aussitôt, en laissant tomber une pièce métallique en forme de coin qui s'intercale entre deux plots et met ainsi le primaire en court-circuit. Les coupe-circuits FF de la haute tension sautent aussitôt, et l'installation est protégée.

3° DISPOSITIF THOMSON-HOUSTON. — Le procédé employé par la C^{ie} Thomson-Houston (fig. 12) est encore

plus simple : il consiste à relier les deux fils du secondaire (basse tension) chacun avec un plateau métallique, tous deux reposant par l'intermédiaire d'une feuille de mica sur un autre plateau plus grand relié à la terre.

Le mica s'obtient en feuilles extrêmement minces ; il en résulte que l'on peut choisir une épaisseur telle qu'elle résiste à la tension normale du secondaire et qu'elle soit percée sitôt que la tension augmente. Si le primaire vient en contact avec le secondaire, la tension à laquelle est soumise la lame de mica s'élève, et cette dernière se trouve vite percée ; un court-circuit s'établit entre les deux fils du secondaire, ce qui entraîne aussitôt la fusion du court-circuit primaire.

4° On peut enfin se contenter de relier le milieu de l'enroulement secondaire à la terre ; si un contact s'établit entre les deux enroulements, les fusibles du primaire sautent et suppriment tout danger ; mais ce procédé a l'inconvénient d'introduire une terre sur l'installation secondaire qui demandera dès lors à être isolée avec soin, car toute communication franche d'un fil quelconque de cette installation avec le sol provoquera un court-circuit dont les conséquences sont toujours désagréables.

Groupement des circuits des transformateurs.

1° COURANT ALTERNATIF SIMPLE. — Un transformateur à courant alternatif simple comprend généralement deux circuits : l'un à haute tension à fil fin, l'autre à basse tension à gros fil. Le montage d'un tel appareil n'offre donc aucune difficulté, chaque enroulement étant facile à reconnaître. Lorsque plusieurs transformateurs de ce genre travaillent en parallèle, les primaires peuvent être montés sur la ligne à haute tension d'une façon quelconque, mais une fois ce

premier enroulement relié, il faut avoir soin de brancher les secondaires en opposition; pour cela, on reliera ensemble une des bornes secondaires d'un des transformateurs à une borne secondaire quelconque de l'autre, puis on placera un voltmètre de 200 volts entre les bornes secondaires restées disponibles sur chacun des transformateurs, ou à défaut de voltmètre, on fera la jonction par un fil de plomb fusible. Si le voltmètre ne marque rien ou si le plomb ne fond pas, c'est que la connexion est bien faite;

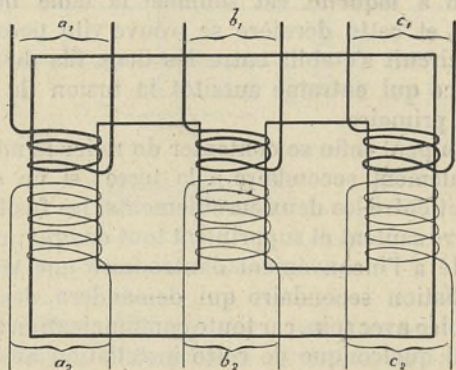


Fig. 13. — Schéma d'un transformateur pour courants triphasés.

sinon, il faut inverser les attaches des bornes entre elles.

2° COURANTS TRIPHASÉS. — Un transformateur pour courants triphasés peut être considéré comme la réunion sur un même bâti de trois transformateurs à courant alternatif simple ainsi que le représente la figure 13. Quelquefois même, on emploie trois transformateurs à courant alternatif simple, mais la réunion en un seul des trois appareils est

plus économique et rend l'ensemble plus maniable.

Quel que soit le moyen employé, on est en présence de trois enroulements primaires a_2 b_2 c_2 et de trois enroulements secondaires, comment les grouper pour les relier au réseau qui, en général, ne comporte que trois fils ?

On peut employer deux systèmes : soit le montage en étoile, soit le montage en triangle, soit même simultanément les deux moyens.

Examinons leurs avantages et leurs inconvénients :

1^o MONTAGE EN ÉTOILE. — On réunit ensemble tous les fils de droite par exemple des enroulements a , b , c , ce point est dit le point neutre. Les extrémités des fils restées libres sont reliées aux trois fils du réseau.

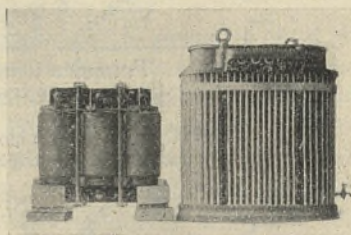


Fig. 14. — Vue d'ensemble de transformateurs triphasés, ouverts et enfermés.

2^o MONTAGE EN TRIANGLE. — On relie le fil de droite de a au fil de gauche de b , le fil de droite de b au fil de gauche de c , et enfin le fil de droite de c au fil de gauche resté libre de a .

On obtient ainsi trois points de jonction situés entre la bobine a et la bobine b , entre b et c et entre c et a que l'on relie aux trois fils de ligne.

Les figures 15 et 16 donnent un exemple des combinaisons que l'on peut ainsi réaliser avec un transformateur triphasé. Si nous supposons que chaque enroulement primaire pour haute tension est établi pour une tension $u_1 = 1.000$ volts par exemple, et chaque enroulement secondaire pour une tension

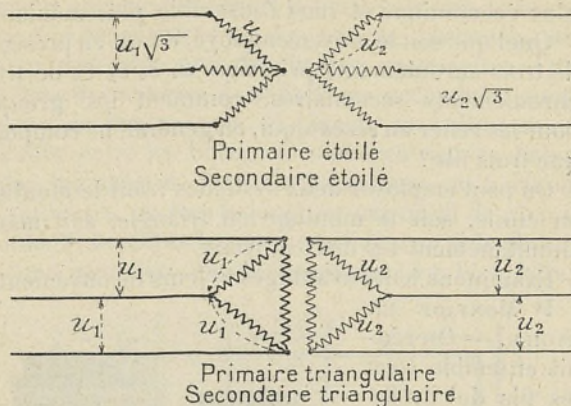


Fig. 15. — Schéma du montage des transformateurs triphasés.

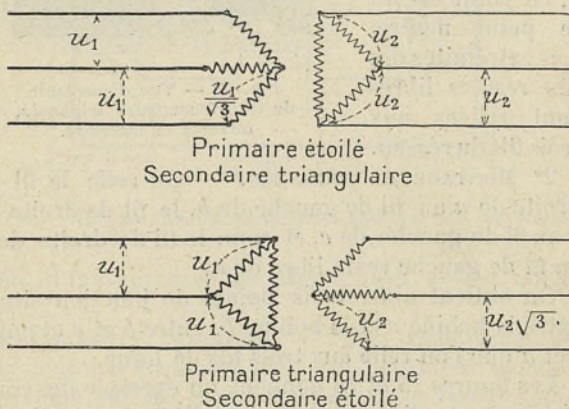


Fig. 16. -- Autres schémas de montage des transformateurs triphasés.

$u_2 = 100$ volts, on obtient les résultats suivants :
1° Le primaire et le secondaire sont montés en

étoile, la tension que l'on peut appliquer entre fils devient $u_1\sqrt{3}$ pour le primaire soit $1.000 \times 1,73 = 1.730$ volts et $u_2\sqrt{3}$ sur le secondaire, soit $100 \times 1,73 = 173$ volts.

2° Le primaire et le secondaire sont montés en triangle, la tension entre fils que l'on peut appliquer n'est plus que celle correspondant à un enroulement, soit 1.000 volts pour le primaire, et 100 volts pour le secondaire.

Suivant les cas, on peut prendre tel ou tel montage ou une combinaison des deux.

Supposons par exemple que le primaire étant alimenté en triangle avec 1.000 volts entre fils ou *par phase*, on veuille sur le secondaire alimenter des moteurs marchant à 170 volts, on montera ce secondaire en étoile et on aura le résultat voulu. Dans la même installation, on pourra brancher sur le même courant primaire un transformateur identique mais avec son secondaire monté en triangle pour alimenter des lampes; dans ce cas, on n'aura plus que 100 volts entre fils, tension fréquemment choisie pour un réseau d'éclairage.

Considérons un autre problème :

Prenons par exemple un alternateur donnant 100 volts qui alimente par un transformateur monté en triangle une ligne aérienne à courant triphasé; admettons que nous ayons dans ces conditions 1.000 volts entre fils de chaque enroulement à haute tension. Supposons que pour aller à une distance plus grande, nous désirions augmenter la tension sans rien changer aux machines, nous monterons l'enroulement à haute tension du transformateur en étoile, ce qui nous donnera 1.730 volts entre les fils, soit une tension presque double sans autre modification qu'un mode d'attache des fils.

Comme on le voit, il devient très facile de changer à son gré la tension, et cela par de simples connexions.

Réglage de la tension. — Les lignes de transmission d'énergie offrent au passage du courant une résistance qui se traduit par une perte de tension variable avec l'intensité du courant qui les traverse.

Il est donc intéressant de pouvoir compenser cette perte par un artifice quelconque qui permettra d'avoir au bout de la ligne la tension constante que réclament les appareils d'utilisation.

Plusieurs moyens peuvent être employés, presque tous utilisent des transformateurs montés en *survolteurs*, mot qui indique clairement le rôle.

Un dispositif très simple (fig. 17) consiste à prendre un transformateur dont

le secondaire $a_2 b_2$ est relié à la ligne, et dont le primaire $a_1 b_1$ comporte un nombre de spires, rendu variable à l'aide d'un commutateur.

Comme on sait que le rapport de transformation d'un transformateur varie comme le rapport du nombre de spires, en changeant ce dernier on change également la tension, et l'on peut ainsi s'arranger pour élever ou abaisser la tension suivant les besoins.

Un autre procédé également facile à réaliser permet de *survolter* la tension de la ligne en un point donné et de compenser ainsi la perte due à la résistance des fils; il consiste à disposer entre les fils de ligne $a_1 b_1$ l'enroulement MN d'un transfor-

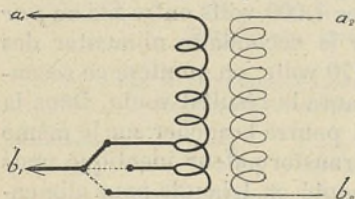


Fig. 17. — Réglage de la tension sur le secondaire d'un transformateur.

mateur dont le secondaire MN est intercalé dans le trajet d'un des fils de ligne (fig. 18).

Les connexions sont établies de telle façon que

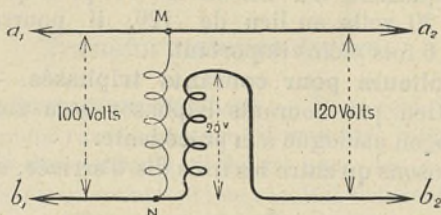


Fig. 18. — Réglage automatique de la tension par transformateur survolteur.

la tension fournie par l'enroulement à gros fil s'ajoute à celle qui existe déjà entre M et N.

C'est ainsi que si nous ne disposons en $a_1 b_1$ que de 100 volts et que nous ayons besoin de 120 volts

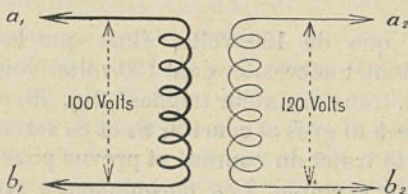


Fig. 19. — Transformateur élévateur de tension.

entre $a_2 b_2$ nous prendrons, un transformateur donnant les 20 volts qui nous manquent dont nous relierons le primaire sur le courant d'arrivée.

On aurait pu évidemment prendre un transformateur ayant un de ses enroulements monté sur les fils à 100 volts du courant d'arrivée et donnant 120 volts au secondaire (fig. 19), mais ce procédé exige un transformateur plus considérable et par suite plus

coûteux que le précédent puisqu'il doit être prévu pour la puissance totale de l'installation. Au contraire, le transformateur-survolteur dont il vient d'être question n'a besoin d'être pris que pour fournir 20 volts au lieu de 120, il pourra être environ 6 fois moins important.

Survolteurs pour courants triphasés. — Une installation par courants triphasés sera survoltée d'une façon analogue à la précédente.

Supposons qu'entre les trois fils d'arrivée, nous ne

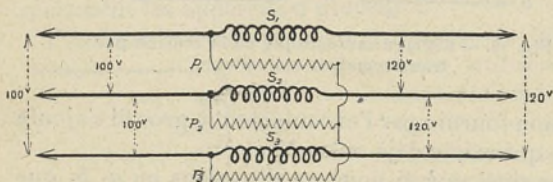


Fig. 20. — Survolteur pour courants triphasés.

dispositions que de 100 volts, alors que les appareils à alimenter nécessiteraient 120 volts. Nous intercalerons un transformateur triphasé (fig. 20) dont les secondaires à fil gros et court S_1 S_2 et S_3 seront intercalés dans le trajet du courant et prévus pour donner 20 volts par exemple. Les enroulements primaires P_1 P_2 P_3 à fil plus fin et plus long sont reliés respectivement aux trois fils d'arrivée et à un point commun (montage en étoile). Il faut dans tous ces cas prendre bien soin de reconnaître le sens des divers enroulements, car si les connexions sont mal établies, on *dévoltera* au lieu de *survolter*; cependant si ce fait se produisait, il suffirait d'invertir les fils dans la branche où l'on constate la diminution de tension.

CHAPITRE III

Transformateurs divers.

Transformateurs de phase. — Dans certains cas, relativement rares cependant il peut être intéressant d'obtenir des courants diphasés avec des courants triphasés ou inversement; ce résultat s'obtient pratiquement avec les transformateurs du système *Scott* dont le montage est le suivant :

Deux transformateurs ont l'un un primaire formé de deux enroulements comportant chacun 100 spires, pour fixer les idées, l'autre a son primaire constitué par un bobinage unique comportant 173 spires. (fig. 21).

Les enroulements secondaires de chacun de ces transformateurs ayant 173 spires, il est facile en réalisant le schéma ci-dessous d'obtenir la transformation cherchée. *a, b, c*, sont les trois bornes d'un alternateur triphasé fournissant le courant à transformer; *a* et *c* sont reliés aux extrémités des enroulements de 100 spires dont les deux autres bouts sont reliés ensemble ainsi qu'au commencement de l'enroulement à 173 spires du transformateur voisin, — *b* est relié à l'extrémité restée libre de ce dernier enroulement.

Dans ces conditions, on recueille sur les circuits secondaires des courants diphasés.

Les courants diphasés, sont moins employés que les courants triphasés, parce qu'ils nécessitent 4 fils au lieu de 3, tout en présentant les mêmes avantages au point de vue des moteurs. Quelques installations

fonctionnent cependant avec des courants diphasés, et il peut être en certains cas intéressant de les convertir en triphasés pour alimenter un centre très éloigné par exemple; en ce cas, on prendra un transformateur Scott identique à celui décrit, mais dont le rôle sera inverse.

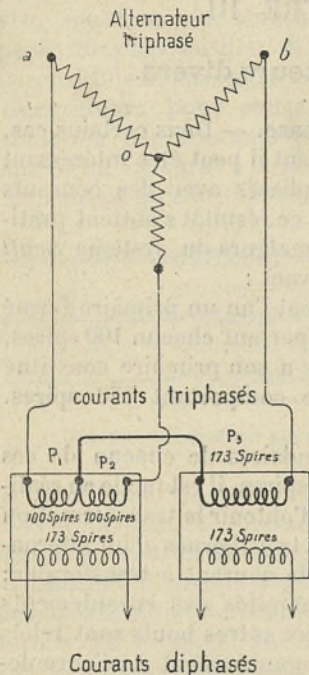


Fig. 21. — Montage Scott pour la transformation des courants triphasés en courants diphasés.

gné par exemple; en ce cas, on prendra un transformateur Scott identique à celui décrit, mais dont le rôle sera inverse.

Nous avons, pour simplifier, indiqué les chiffres de 100 et 173 spires pour la valeur des enroulements du transformateur Scott; en réalité, ces chiffres sont des multiples de ces nombres, mais en somme, tout se passe comme si on avait les chiffres de 100 et 173.

Courants hexaphasés. — Les commutatrices, machines dont nous donnons plus loin la description, nécessitent pour des raisons de stabilité de marche des courants hexaphasés obtenus très simplement à l'aide de transformateurs triphasés.

Dans ce but, un transformateur triphasé du genre de celui de la fig. 22 a son primaire monté en étoile ou en triangle relié à un réseau triphasé.

Le secondaire qui est formé lui aussi de 3 enroule-

ments peut être monté en triangle à 6 phases ou en étoile à 6 phases.

Le premier montage est très simple (fig. 31); il consiste à relier les 6 fils libres aux 6 bagues de la commutatrice hexaphasée, — le montage en étoile nécessite la liaison par un fil commun du milieu de chacun des enroulements ainsi que l'indique la fig. 22, les extrémités libres des enroulements étant reliées aux 6 bagues comme précédemment.

Transformation des courants alternatifs simples en courants diphasés. — Les courants alternatifs triphasés et diphasés sont des courants alternatifs décalés l'un par rapport à

l'autre de $\frac{1}{3}$ ou de $\frac{1}{4}$ de période, autrement dit

entre chaque phase d'un réseau triphasé ou diphasé ou entre chacun des fils on recueille un courant alternatif, mais si on compare entre eux les courants des diverses phases, on remarque qu'ils ne se produisent pas aux mêmes instants.

En particulier, dans un réseau diphasé, quand le courant atteint son maximum d'intensité sur une phase, il est nul dans l'autre et inversement.

On voit qu'avec un réseau diphasé ou triphasé, on pourra toujours obtenir du courant alternatif simple, en se branchant entre deux fils, mais inversement, on peut se demander s'il est possible d'avoir des cou-

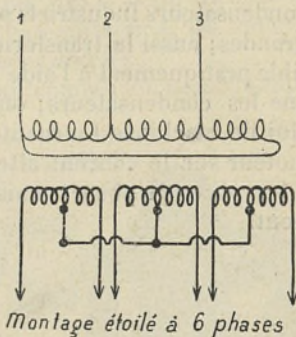


Fig. 22. — Transformateurs pour courants hexaphasés.

rants di ou triphasés, en partant du courant alternatif simple.

Ce problème résolu théoriquement pour ce qui est de la transformation du courant alternatif simple en courant diphasé à l'aide de condensateurs ne l'est pas encore pratiquement. Ce fait tient, pour le moment, à ce que l'on ne sait pas encore faire des condensateurs industriels pour des puissances un peu grandes; aussi la transformation n'est-elle pas possible pratiquement à l'aide d'appareils aussi simples que les condensateurs; on est donc réduit à l'emploi de machines tournantes, l'une fonctionnant en moteur sur le courant alternatif et l'autre en générateur di ou triphasé, mais ce cas se présente rarement.

CHAPITRE IV.

Transformation des courants alternatifs en courant continu.

La transformation du courant alternatif en courant continu peut se faire à l'aide de plusieurs procédés; nous n'en retiendrons que deux, celui du moteur-générateur et celui de la commutatrice, les seuls qui conviennent aux puissances élevées.

Le Moteur-générateur, comme son nom l'indique,

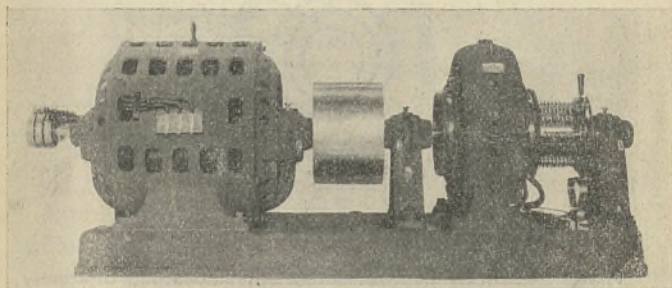


Fig. 23. — Groupe convertisseur formé d'un moteur triphasé actionnant un dynamo.

est formé d'un moteur à courant alternatif, simple, di ou triphasé qui actionne une dynamo à courant continu (fig. 23). La transformation des courants par ce système qui a ses avantages et ses inconvénients est facile à réaliser; on l'avait employé en 1900 pour fournir au trottoir roulant le courant continu qui lui était nécessaire en se servant des courants triphasés fournis par une usine éloignée. Il n'y a aucune difficulté dans l'emploi d'un ensemble moteur-généra-

teur; le moteur d'une part se met en marche à la façon ordinaire, la dynamo se règle comme une machine conduite par un moteur quelconque, son allure est toujours très régulière, et si ce n'était la question de prix et aussi celle du rendement, on emploierait toujours cette solution.

La commutatrice est la réunion en une seule

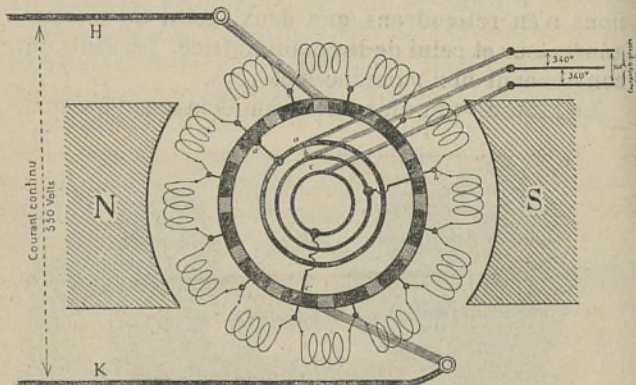


Fig. 24. — Schéma d'une commutatrice pour courants triphasés.

des deux machines précédentes, les dimensions sont dès lors plus restreintes, le prix est moins élevé et le rendement devient meilleur, les pièces à entraîner étant plus petites et moins lourdes.

La commutatrice peut être réalisée de la façon suivante : supposons, pour un instant, que l'on veuille transformer du courant continu en courants triphasés, nous prendrons une dynamo à courant continu genre Gramme, par exemple (fig. 24). Choisisant sur l'anneau trois points équidistants a' , b' , c' , nous les relierons chacun à une bague isolée, ces trois bagues a , b , c étant montées sur l'arbre de la dynamo

Faisons tourner cette machine soit en moteur en envoyant du courant continu sur le collecteur, soit en agissant sur la poulie et nous recueillerons entre les bagues *a, b, c*, des courants triphasés.

Nous aurons ainsi réalisé un alternateur triphasé que nous pourrons coupler sur un réseau triphasé, s'il remplit les conditions voulues de fréquence et de tension.

A ce moment, on pourra supprimer l'entraînement par courant continu, le courant triphasé maintenant la machine en mouvement qui fonctionne comme un vrai moteur.

Nous pourrions recueillir sur le collecteur du courant continu, car quel que soit le moyen employé lorsque l'induit de la dynamo tourne entre les pôles N et S, il se développe entre les balais une tension continue. La transformation du courant alternatif en continu est donc possible; voyons comment l'on procède pratiquement.

Conditions de fonctionnement des commutatrices. — Nous avons dit que pour que la commutatrice puisse être couplée sur le réseau alternatif, il faut que certaines conditions soient remplies.

1° FRÉQUENCE. — Prenons pour simplifier les idées le cas d'une commutatrice à deux pôles destinée à fonctionner sur un réseau à courant alternatif simple à 71 volts et 50 périodes par seconde.

Au lieu de trois points pris à égale distance sur l'enroulement induit, nous en prendrons *deux* diamétralement opposés (fig. 27) reliés chacun à une bague isolée, puisque nous ne considérons que le cas du courant alternatif simple pour commencer (1).

(1) Voir le *Manuel de l'Électricien*, traité pratique des machines électriques dynamo-électriques par A. Soulier page 236.

Nous pouvons assimiler la commutatrice à un alternateur à deux bobines induites, chacune d'elles étant constituée par une moitié de l'anneau.

En faisant tourner cet induit entre les pôles N et S, des balais appuyant sur les bagues reliées aux extrémités des bobines recueilleront un courant alternatif à raison d'une inversion par tour. Suivant la vitesse, on obtiendra donc telle ou telle fréquence. En d'autres termes, le nombre d'inversions du courant entre les bagues dépendra du nombre de tours, de l'induit; si l'induit tourne à 3.000 tours par minute soit 50 tours par seconde, on aura 50 inversions complètes par seconde; c'est ce que l'on exprime en disant que la fréquence du courant alternatif est de 50 périodes par seconde.

Donc, pour pouvoir coupler la commutatrice sur un réseau alternatif, il faudra lui faire fournir un courant alternatif à une fréquence égale à celle du réseau, si elle est à deux pôles, l'induit devra tourner à

3.000 tours par minute pour obtenir la fréquence de 50 périodes par seconde;

2.580 tours par minute pour obtenir la fréquence de 42 périodes par seconde;

1.500 tours par minute pour obtenir la fréquence de 25 périodes par seconde;

Si la machine est à 4 pôles, on aura 2 périodes par tour, en sorte que l'induit ne devra plus tourner qu'à

1.500 tours par minute pour obtenir la fréquence de 50 périodes par seconde;

1.290 tours par minute pour obtenir la fréquence de 42 périodes par seconde;

750 tours par minute pour obtenir la fréquence de 25 périodes par seconde;

Avec une machine à 6 pôles, il suffira :

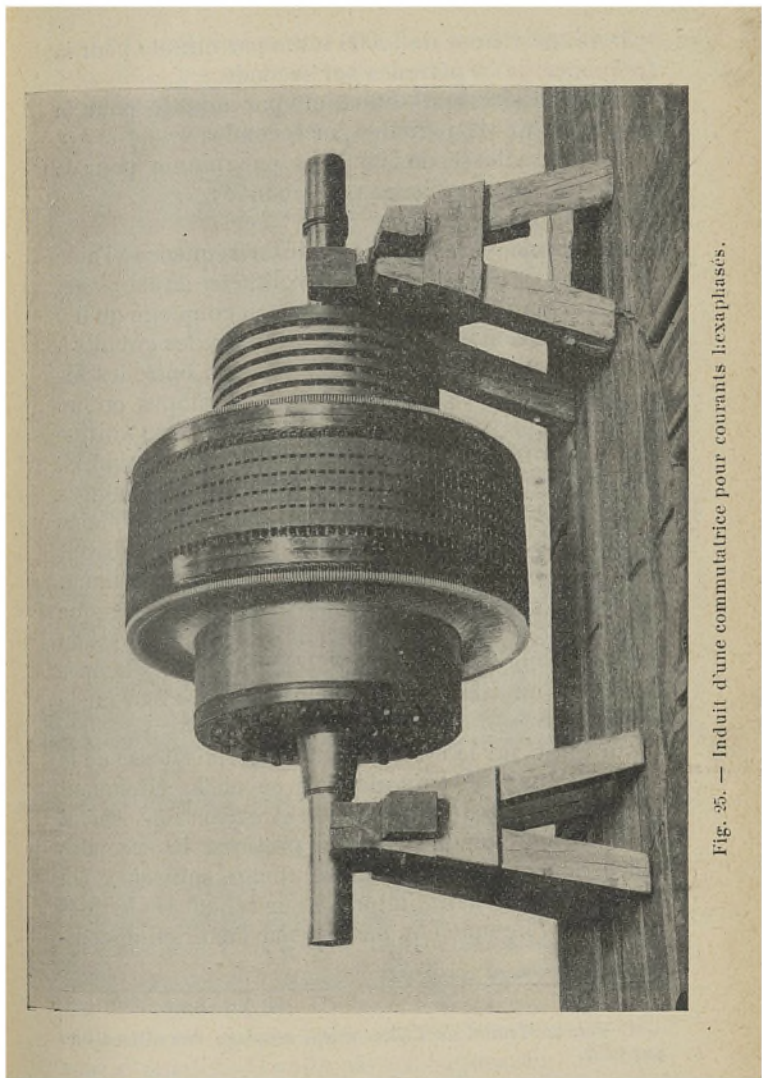


Fig. 25. — Induit d'une commutatrice pour courants lieaplaisés.

1° D'une vitesse de 1.000 tours par minute pour la fréquence de 50 périodes par seconde;

2° D'une vitesse de 860 tours par minute pour la fréquence de 42 périodes par seconde;

3° D'une vitesse de 500 tours par minute pour la fréquence de 25 périodes par seconde;

Et ainsi de suite.

On se rend compte de l'égalité de fréquence à l'aide de lampes de phase (1) ou d'un voltmètre de couplage.

Il faut en effet pour faire un bon couplage qu'il y ait coïncidence parfaite entre les pôles des circuits à relier. On intercale pour s'en assurer, entre les fils venant des balais et le réseau, des lampes ou un voltmètre; si la commutatrice a une vitesse voisine de celle qui correspond à la coïncidence des pôles, ou voisine du *synchronisme*, on voit les lampes s'éclairer et s'éteindre à intervalles plus ou moins rapprochés. Si l'on a intercalé un voltmètre, on voit son aiguille osciller entre le zéro et le maximum. Cela veut dire que la polarité est la même, lorsque les lampes sont éteintes ou que le voltmètre est au zéro et qu'elle est de sens opposé, lorsque les lampes brillent d'un vif éclat ou que le voltmètre marque le maximum.

On agira sur le système qui règle la vitesse de la commutatrice en l'augmentant ou en la diminuant jusqu'à ce que les allumages et extinctions soient aussi espacés que possible (en pratique 10 secondes entre une extinction et un allumage suffisent). On fermera rapidement l'interrupteur reliant les bagues au réseau, lorsque l'on passera par l'extinction com-

(1) Voir le *Manuel de l'Electricien*, couplage des alternateurs page 259.

plète, la machine restera couplée, *accrochée* comme l'on dit et pourra fournir du courant continu.

2^o TENSION. — La commutatrice devra être établie pour donner à la vitesse normale, par ses bagues à

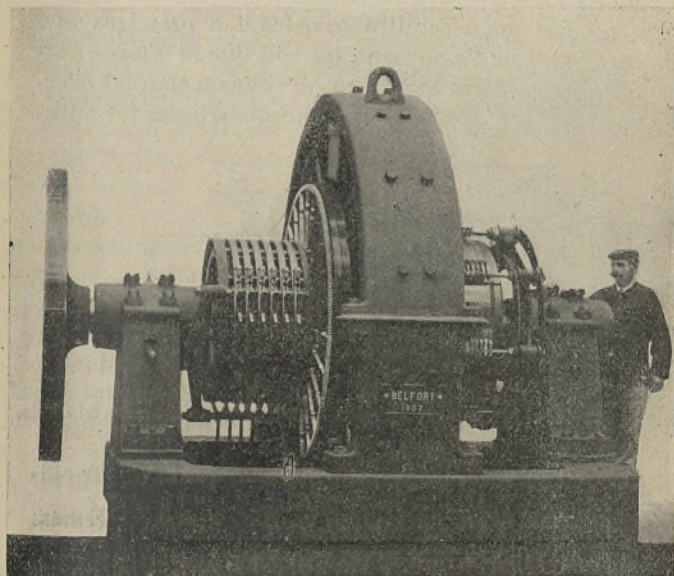


Fig. 26. — Commutatrice pour courants hexaphasés de la Société alsacienne de constructions mécaniques

courant alternatif, une tension sensiblement égale à celle qui lui est opposée et qui devra l'alimenter. Cette tension n'est pas la même que celle qui existe entre les balais à courant continu, quoique fournie par le même induit.

C'est ainsi qu'une commutatrice recevant du courant alternatif à 71 volts par ses bagues (fig. 27) four-

nira sur le collecteur une tension continue de 100 volts.

De même, une commutatrice triphasée (fig. 28) recevant sur ses trois bagues des courants alternatifs à la tension de 340 volts entre fils fournira du côté continu 550 volts entre balais.

Le fait peut paraître paradoxal à première vue, cependant en l'analysant, on voit que la tension continue correspond à la valeur maxima du courant alternatif, valeur qui n'est pas enregistrée par les appa-

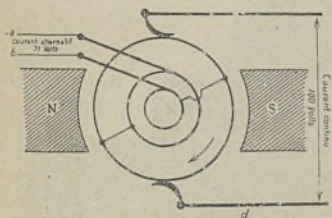


Fig. 27. — Schéma d'une commutatrice pour courant alternatif simple.

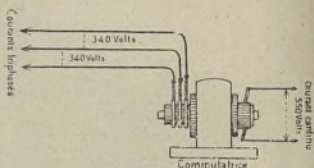


Fig. 28. — Schéma d'une commutatrice pour courants triphasés.

reils de mesure, lesquels ne donnent que la valeur efficace; c'est ainsi que $E_{\text{eff}} = \frac{\sqrt{2}}{2} E_{\text{max}} = 0,707 E_{\text{max}}$.

Il en résulte que la tension continue et la tension alternative restent intimement liées l'une à l'autre par des relations qui sont les suivantes (1) :

Courant	Différence de potentiel
Continu	E
Alternatif simple.....	$\frac{E}{\sqrt{2}} = 0,707 E$
Alternatif diphasé.....	$0,707 E$
Triphasé en triangle.....	$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E = 0,612 E$

(1) *Formulaire de l'Electricien* par E. HOSPITALIER.

Réglage de la tension d'une commutatrice. —

Une commutatrice étant accrochée par son induit sur un réseau alternatif à une vitesse constante, réglée par la fréquence même du réseau. D'autre part, la tension à courant continu étant invariablement liée à la tension alternative, nous n'avons plus comme dans les dynamos la ressource d'agir sur la vitesse ou sur l'excitation pour modifier la tension.

Certaines applications où les commutatrices sont couramment employées (tramways, chemins de fer

électriques, etc.), nécessitent une tension continue assez variable pour pouvoir compenser les

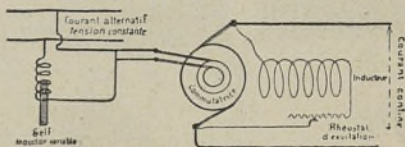


Fig. 29. — Réglage de la tension d'une commutatrice.

câbles ou lignes. Comment faire pour y arriver? Ne pouvant agir ni sur la vitesse, ni sur l'excitation, nous pourrons à l'aide d'un transformateur à tension variable (fig. 17) modifier la tension aux bagues d'entrée, ce qui entraînera une variation correspondante de la tension continue, c'est déjà un procédé.

Il en existe un autre plus employé qui consiste à introduire dans le circuit d'alimentation en courant alternatif, une bobine de self-induction qui produit un effet analogue; on peut alors, en agissant sur l'excitation de la commutatrice faire varier le décalage, et par suite, la chute de tension dans la bobine de self. Ce dernier procédé permet donc d'utiliser un rhéostat d'excitation et même de compounder la commutatrice, comme on le ferait pour une dynamo à courant continu; c'est le plus avantageux (fig. 29).

Démarrage des commutatrices. — Nous avons

supposé que l'on se servait de courant continu pour faire tourner la commutatrice en moteur continu et pour l'amener ainsi exactement à la vitesse correspondant au synchronisme. C'est toujours ainsi que

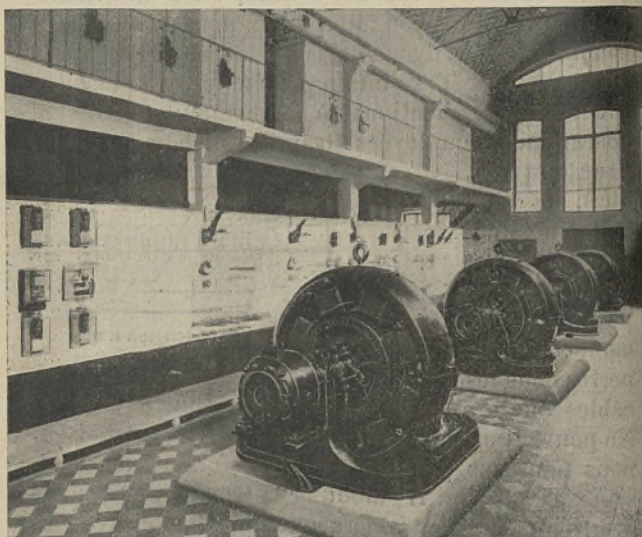


Fig. 30. — Vue intérieure d'une sous-station transformant des courants triphasés en courant continu à l'aide de 4 commutatrices

l'on procède, quand on dispose soit d'une batterie d'accumulateurs, soit du courant continu d'autres commutatrices. Si on n'a pas de courant continu, et le cas est fréquent, on emploie un petit moteur triphasé ou diphasé monté à l'extrémité de l'arbre de l'induit de la commutatrice qui permet d'entraîner facilement cette machine. On peut voir ce montage réalisé dans l'installation représentée par la fig. 30.

Incidents qui peuvent se présenter. — Parmi les nombreux incidents qui peuvent se présenter nous citerons :

1^o **POLARITÉ.** — Une commutatrice lancée par un moteur à courant alternatif et accrochée au réseau aura à ses bornes à courant continu une polarité *quelconque* déterminée par la position de l'induit et de ses connexions au moment de l'accrochage ; c'est ainsi qu'une commutatrice à courant alternatif simple couplée par les points de la fig. 27 aura en *c* et *d* des pôles qui pourront ne pas être les mêmes, suivant l'instant où se produira la fermeture de l'interrupteur (la bague supérieure peut en effet être reliée au réseau, au moment où l'onde sera positive ou négative, ce qui fera varier la polarité de *c* et *d*).

Si, au contraire, la commutatrice est lancée par une source auxiliaire à courant continu, elle a une polarité qui lui est acquise et qui est celle de la source.

On devra dans le premier cas munir le circuit continu d'un inverseur permettant d'invertir les connexions entre les balais à courant continu et le réseau, de façon à maintenir toujours une même polarité sur ce dernier.

2^o **POMPAGE.** — On désigne sous le nom de « pompage » un balancement périodique de l'induit des commutatrices donnant lieu à des étincelles aux balais sur le collecteur à courant continu. On évite ce pompage par une construction soignée de la machine et surtout par la présence de circuits amortisseurs placés sur les pièces polaires ou même entre les pôles. On peut quelquefois aussi l'éviter ou l'atténuer en agissant sur l'excitation.

3^o **DÉCROCHAGE.** — Lorsque le pompage est trop accentué, il peut arriver que la machine « se décroche » c'est-à-dire cesse de se maintenir au synchronisme

et s'arrête; on doit alors si les fusibles ou les disjoncteurs n'ont pas sauté, supprimer toute communication entre la commutatrice et le réseau, en ouvrant les interrupteurs, car l'induit pourrait brûler s'il recevait au repos le courant de la canalisation.

Le décrochage se produit fréquemment en cas de

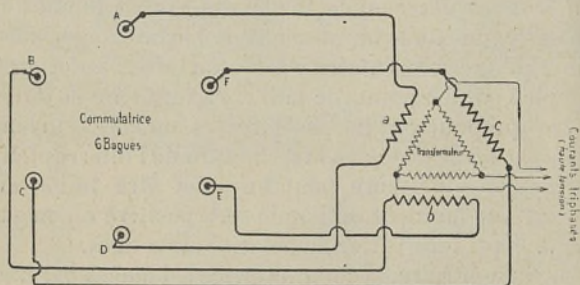


Fig. 31. — Schéma du montage d'une commutatrice hexaphasée

court-circuit sur la ligne ou de variation brusque de la charge, il est d'autant plus facile à amener que la fréquence d'alimentation est plus grande. C'est du reste la seule raison d'être des réseaux à 25 périodes par seconde qui conviennent mieux à l'alimentation des commutatrices que ceux à 50 périodes par seconde. Dans chaque cas, on peut faire usage d'un montage hexaphasé (fig. 31) qui permet d'alimenter la commutatrice en 6 points de l'induit au lieu de 3, ce qui augmente considérablement la stabilité (fig. 25 et 31).

DEUXIÈME PARTIE

Appareils de mesures électriques

CHAPITRE I

Principe des appareils de mesure

Les appareils de mesures électriques sont aujourd'hui d'un usage si répandu que tout électricien doit en connaître le maniement.

Nous ne pouvons pas évidemment les passer tous en revue, mais nous examinerons les principaux, ceux qui sont d'un usage journalier, ce sont :

- 1° Les ampèremètres;
- 2° Les voltmètres;
- 3° Les wattmètres;
- 4° Les compteurs électriques;
- 5° Les ohmmètres.

L'étude des ampèremètres et voltmètres peut marcher parallèlement, ces appareils ne différant en général que par leur mode de montage et étant identiques quant au principe.

Principe des appareils de mesure. — On a utilisé dans la construction des appareils de mesure tous les phénomènes qui permettent de déceler soit le passage d'un courant, soit la présence d'une charge électrique.

Parmi les procédés les plus employés, citons :

- 1° L'attraction d'une palette de fer doux;

2° La déviation d'une aiguille aimantée ou inversement la déviation d'un courant par un aimant;

3° L'attraction qui s'exerce entre deux courants voisins;

4° La dilatation d'un fil échauffé par le passage du courant;

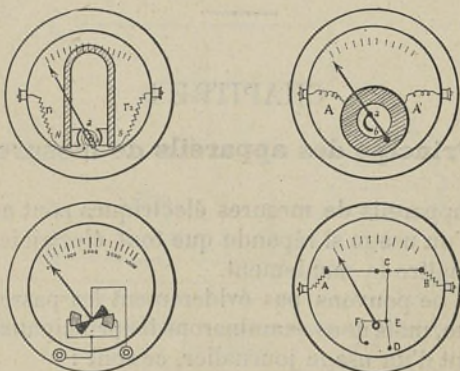


Fig. 32. — Principes divers sur lesquels sont basés les appareils de mesure.

5° L'attraction de pièces conductrices légères par d'autres chargées d'électricité;

6° La rotation de pièces conductrices dans un champ magnétique tournant.

1° APPAREILS A FER DOUX. — Ces appareils très simples sont constitués par une bobine AA' sur laquelle on enroule soit un fil de cuivre isolé au coton, gros et court; s'il s'agit d'un ampèremètre, fin et long pour un voltmètre (fig. 32 en haut et à droite).

A l'intérieur de la bobine, on dispose montée entre deux pointes formant pivot *a* une légère palette de fer doux *b* pliée en forme de demi-cylindre par exemple qui aura une tendance à venir se coller

contre la paroi intérieure de la bobine, quand le courant passera. Cette attraction du fer par un courant qui, en somme, est le principe de l'électro-aimant peut se réaliser de différentes façons; nous en avons indiqué la plus simple.

Les appareils basés sur ce principe sont appelés *électromagnétiques*, ils sont très simples et peu coûteux; par contre, ils sont peu sensibles et inexacts suivant que l'on opère avec des courants constamment croissants ou constamment décroissants.

Le phénomène d'hystérésis intervient ici et si, par exemple, la graduation a été faite en montant, c'est-à-dire avec des courants croissants, l'appareil n'est plus exact avec des courants décroissants. Ce fait tient à ce que la palette de fer pour si doux qu'ait été choisi le métal, retient l'aimantation et devient un petit aimant ce qui fausse l'indication.

Pour obtenir avec ces appareils des indications sensiblement exactes, on devra interrompre le courant entre deux lectures consécutives.

Ces appareils très répandus fonctionnent également avec des courants alternatifs, mais dans ce dernier cas, on devra fendre la bobine si elle est métallique d'un trait de scie parallèle à l'axe, sur un rayon par exemple, car sans cela on constaterait un échauffement rapide.

La bobine non fendue forme transformateur, le fil qu'elle reçoit constituant le primaire et la carcasse même de la bobine formant le secondaire. En fendant la bobine, on évite que l'unique spire de ce secondaire soit fermée, et cela supprime l'échauffement (fig. 32 et 33).

Quand on emploie ces appareils, il faut les éloigner de tout aimant ou de tout circuit parcouru par des

courants intenses, la palette de fer doux pouvant subir leur influence.

2° APPAREILS A AIMANTS. — Les premiers galvanomètres qui ont servi à déceler le passage des courants électriques sont constitués par une aiguille

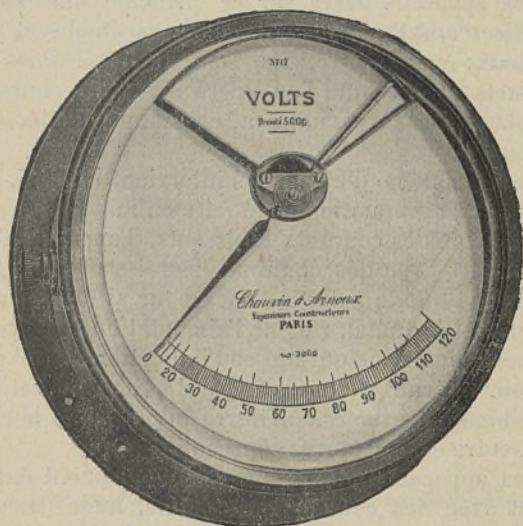


Fig. 33. — Voltmètre électromagnétique de MM. Chauvin et Arnoux.

aimantée placée au centre d'une bobine et orientée convenablement. Sous l'effet d'un courant même très faible, cette aiguille dévie et peut servir à la mesure des intensités de courant.

On continue à employer cette disposition pour certains galvanomètres auxquels on demande une grande sensibilité. L'aiguille étant suspendue par un fil de cocon dévie alors avec des courants extrême-

ment faibles, mais ce procédé ne peut être employé industriellement.

On a préféré renverser la disposition en rendant *l'aimant fixe* et en laissant la bobine *mobile*; on a réalisé les appareils dits à *cadre mobile* excessivement répandus aujourd'hui (fig. 32). Appareil de gauche en haut.)

La seule difficulté était d'amener le courant à la

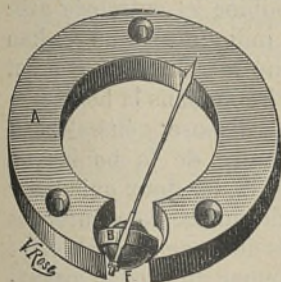


Fig. 34. — Appareil à cadre mobile de MM. Chauvin et Arnoux.

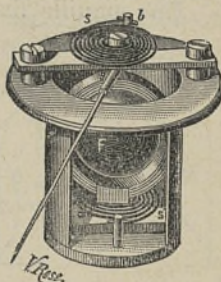


Fig. 35. — Équipage mobile Chauvin et Arnoux.

bobine mobile, mais les constructeurs l'ont élégamment résolue, en se servant de deux ressorts spiraux analogues aux ressorts de montre. Ces ressorts ont aussi pour but de rappeler la bobine à sa position de départ sitôt que le courant n'agit plus.

Pour obtenir une grande sensibilité et des déviations proportionnelles, l'aimant en forme de fer à cheval se termine comme dans les dynamos par deux pièces polaires en fer doux creusées en forme de tube à l'intérieur duquel vient se déplacer la bobine ou cadre mobile (fig. 34 et 36).

Ce cadre mobile rectangulaire dans les appareils de Arsonval, Carpentier, Weston, etc., est annulaire et

a la forme d'une bague dans les appareils Chauvin et Arnoux (fig. 34 et 35).

Deux pivots encastrés dans la bobine viennent reposer dans des chapes en agate ou en pierre fine qui conservent à l'appareil une grande sensibilité.

Deux ressorts spiraux montés de part et d'autre communiquent avec les extrémités du fil enroulé sur la bobine et lui transmettent le courant.

Une aiguille fixée à la bobine et entraînée avec elle indique sur un cadran gradué la valeur du courant qui circule dans la bobine.

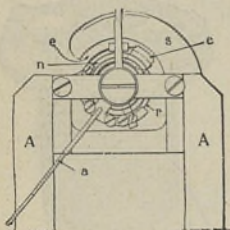


Fig. 36. — Appareil à cadre mobile d'Arsonval.

On dispose généralement au centre de la bobine un noyau de fer doux qui a pour but de mieux concentrer les lignes de force de l'aimant et de donner au champ magnétique dans lequel se déplace la bobine une grande uniformité se traduisant par une graduation plus régulière du cadran. Ce noyau a la forme d'une bille dans les appareils Chauvin et Arnoux.

Pour rendre les déviations proportionnelles, la Compagnie pour la fabrication des compteurs construit des appareils à cadre mobile dans lesquels les pièces polaires se terminent par des épanouissements concentriques entre lesquels se déplace le cadre (fig. 36).

Shunts. — Tandis que les appareils à fer doux peuvent indifféremment servir de voltmètre ou d'ampèremètre, rien qu'en changeant la grosseur du fil de la bobine qu'ils comportent, on ne peut en faire autant du fil de *b*, la bobine mobile des appareils ci-dessus qui est de dimensions trop restreintes pour recevoir de gros conducteurs.

En second lieu, pour des intensités dépassant un demi-ampère ou un ampère, les ressorts spiraux risquent de s'échauffer, et par suite ne conservent plus leur élasticité. Pour pouvoir mesurer avec ces appareils des courants de plusieurs centaines et même plusieurs milliers d'ampères, on a été conduit à employer un artifice qui consiste à faire passer ces courants dans ce qu'on appelle un *shunt*. Le shunt n'est autre qu'une résistance en maillechort, étalonnée très exactement en même temps que l'appareil

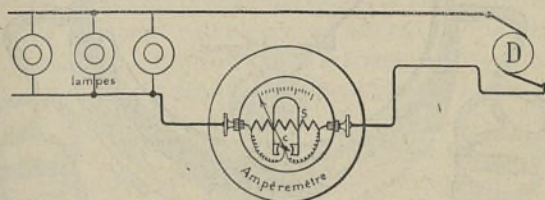


Fig. 37. — Schéma du montage intérieur des ampèremètres à cadre mobile.

à cadre mobile que l'on veut employer, de façon à ce que sur 100 ampères par exemple, il en passe 1 dans le cadre mobile et 99 dans le shunt (fig. 37).

Le shunt figuré en S réunit les bornes de l'ampèremètre; une dérivation alimente le cadre mobile.

Si l'intensité du courant varie, elle se divisera toujours dans le rapport de 1 à 99, et l'appareil marquera absolument comme si les 100 ampères le traversaient directement.

Naturellement, il faut pour cela que la résistance de l'appareil, ainsi que celle du shunt restent invariables; il ne faudra donc, *sous aucun prétexte*, allonger ou raccourcir les fils qui relient le shunt à l'appareil, principalement lorsque le shunt est exté-

rieur (cas de la fig. 38). S'il en était autrement il faudrait étalonner à nouveau l'appareil avec ses nouveaux cordons.

Ce système très employé aujourd'hui a de grands

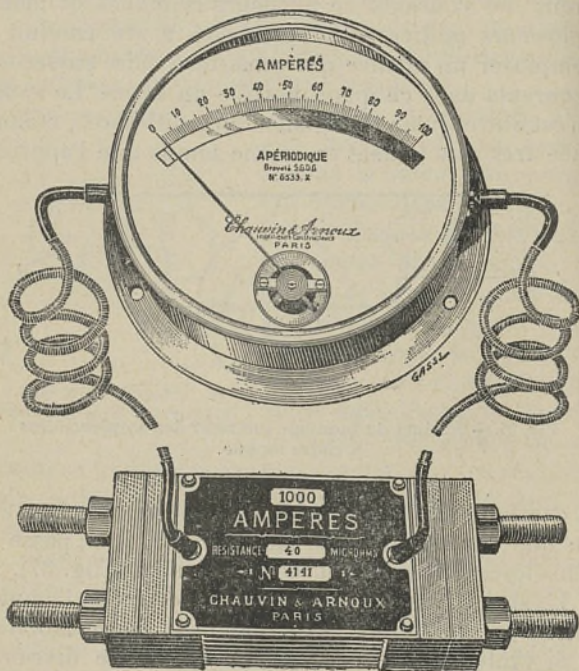


Fig. 38. — Ampèremètres de MM. Chauvin et Arnoux avec shunt extérieur.

avantages ; on voit tout de suite que l'on n'est plus obligé d'avoir recours à plusieurs ampèremètres pour mesurer des intensités différentes, par exemple 1 ou 500 ampères. Tandis qu'avec les appareils à fer doux il faudra pour cela un ampèremètre gradué de

0 à 1 ampère et un autre ampèremètre gradué de 0 à 500 ampères, il suffira d'un seul appareil à cadre mobile et de deux shunts l'un pour 1 ampère, l'autre pour 500. Ces résistances étant constituées par de simples barrettes en maillechort, le prix est inférieur à celui de deux ampèremètres.

Les appareils à cadre mobile sont extrêmement sensibles, mais ils ne peuvent fonctionner qu'avec du courant continu, car suivant le sens du courant qui traverse le cadre, ce dernier dévie d'un côté ou de l'autre de l'aimant; c'est leur seul inconvénient.

3° APPAREILS ÉLECTRODYNAMIQUES. — Tout le monde sait que l'on peut remplacer un aimant par un électro-aimant; il en résulte que si dans un appareil à cadre mobile, on remplace l'aimant par un électro-aimant, l'appareil fonctionnera. Si on fait passer dans les bobines de cet électro-aimant le courant à mesurer qui circule déjà dans la bobine mobile, cette dernière déviara. En réalité, on supprime le fer dans les appareils de ce genre, et l'on ne met en présence que deux bobines, l'une fixe, l'autre mobile.

Si ces deux bobines sont parcourues par le courant à mesurer, on obtient un ampèremètre dont les indications sont proportionnelles au carré de l'intensité du courant, ce qui permet d'employer l'appareil aussi bien sur des courants continus que sur des courants alternatifs.

Si l'une des bobines est parcourue par le courant total, et si l'autre bobine, la bobine mobile par exemple est branchée par l'intermédiaire d'une résistance en dérivation sur les deux fils de la canalisation, on obtient une déviation proportionnelle aux volts et aux ampères, et l'on a un wattmètre.

Ainsi qu'on le voit, cette catégorie d'appareils est très intéressante; elle n'a qu'un défaut, c'est d'être

moins sensible que la classe précédente des appareils à cadre mobile.

4° APPAREILS THERMIQUES. — Prenons un fil métallique très fin, de deux dixièmes de millimètre de diamètre par exemple, faisons-le traverser par un courant d'un ampère; il va s'échauffer et il s'allongera. Si nous le tendons entre deux points fixes et si nous suspendons un poids en son milieu, ce poids s'abaissera si le fil s'allonge, et la mesure de ce déplacement pourra donner une indication sur la valeur du courant qui traverse le fil, que ce courant soit continu ou alternatif. C'est en se basant sur ce procédé qu'a été établie toute une série d'instruments très répandus aujourd'hui.

Nous décrivons un des appareils thermiques choisis parmi les plus employés, celui de Hartmann et Braun; il se compose d'un fil de laiton ou d'argent de 5 dixièmes de millimètre de diamètre et de 16 centimètres de longueur (fig. 32 en bas à droite) tendu entre deux points A et B et relié aux deux bornes de l'appareil. Vers le milieu C est fixé un deuxième fil CD, non parcouru par le courant, servant à enregistrer la tension du fil AB. Le fil CD est lui-même tendu par un fil EF que maintient un ressort F, dans le parcours de E à F, il fait un tour sur une poulie supportant l'aiguille indicatrice.

Si le fil AB s'allonge tant soit peu, il s'infléchit; le fil CD se courbe à son tour, tiré qu'il est par le ressort F, l'aiguille se déplace.

Ce procédé utilisant la flèche de deux cordes procure une très grande amplification; en pratique, il suffit d'un très faible allongement pour faire tourner l'aiguille. Pour que l'appareil conserve son exactitude, malgré les variations extérieures de la température, il faut que le socle se dilate exactement comme

le fil; de cette façon, l'aiguille restera au zéro, quelle que soit la température extérieure.

L'appareil est complété par un amortisseur formé d'un petit disque d'aluminium se déplaçant avec l'aiguille et venant passer sous les pôles d'un petit aimant, les courants induits dans ce disque font frein et empêchent un déplacement trop rapide de l'aiguille. Une vis de réglage placée sur le côté permet de ramener l'aiguille au zéro, quand par suite d'un fonctionnement prolongé elle n'y revient pas.

Les appareils thermiques sont très employés aujourd'hui pour la mesure des courants alternatifs; ils sont extrêmement simples, ils n'ont qu'un défaut, c'est qu'ils peuvent être brûlés très facilement, si on fait traverser le fil par un courant trop intense.

5° APPAREILS ÉLECTROSTATIQUES. — Basés sur les attractions des corps légers par des charges électriques, ces appareils très simples ne peuvent être utilisés que comme voltmètres. Ils sont constitués en général par une ou plusieurs feuilles d'aluminium montées sur un axe très mobile. Dans le voisinage des feuilles d'aluminium, on dispose des plateaux fixes encadrant ces feuilles (fig. 32 en bas et à gauche.)

Si on relie les feuilles d'aluminium à un des pôles et les plateaux à l'autre pôle d'une source d'électricité possédant une tension assez élevée, les feuilles d'aluminium vont se trouver attirées comme les seraient des corps légers et vont se diriger vers les plateaux. L'ensemble des feuilles et plateaux est disposé pour qu'il ne puisse y avoir contact, ce qui provoquerait un court-circuit et la destruction de l'appareil. Une aiguille montée sur l'axe qui soutient les feuilles d'aluminium vient indiquer sur un cadran la tension correspondante.

Ces appareils appelés quelquefois *électromètres*

fonctionnent aussi bien avec du courant continu qu'avec du courant alternatif, mais comme les phénomènes électrostatiques ne se manifestent qu'à des tensions relativement élevées, ils ne conviennent que pour des tensions de plusieurs centaines de volts.

Lord Kelvin a pu cependant établir un électromètre fonctionnant bien entre 50 et 120 volts en multipliant le nombre des plateaux; de là, le nom de *multi-cellulaire* donné à cet instrument.

6° APPAREILS A CHAMP TOURNANT. — L'apparition des courants polyphasés a fait naître une nouvelle catégorie d'appareils de mesure, dits à « *champ tournant* ».

Dans ces appareils on met à profit le phénomène du champ tournant si bien utilisé dans les moteurs à cage d'écureuil.

Pour en bien saisir le fonctionnement, considérons deux électro-aimants entre les branches desquels nous placerons un disque d'aluminium ou de cuivre monté sur un axe très mobile.

Disposons les électro-aimants à angle droit et lançons dans le premier un courant alternatif et dans le deuxième un courant alternatif analogue mais décalé de 90° par rapport au premier, (cela revient à alimenter ces électros par des courants diphasés). Lorsque le courant est maximum dans le premier des électro-aimants, il est nul dans l'autre, et ainsi de suite le champ magnétique résultant est un champ tournant car tout se passe comme si le champ, maximum à un moment donné entre les branches du premier électro-aimant se déplaçait le long du disque pour devenir maximum entre les pôles du deuxième, et ainsi de suite. Le disque soumis à ce champ tournant sera le siège de courants induits qui tendront à l'entraîner dans la direction du champ, le disque

tournera et sa vitesse ou la mesure du couple qui l'entraîne pourra servir à évaluer les courants qui traversent les bobines.

On peut, de cette façon, constituer des wattmètres très simples : le premier électro-aimant bobiné avec un fil gros et court est traversé par le courant total, le deuxième en fil fin et long est branché comme un voltmètre. Ce dernier possédant beaucoup plus des spires que le premier, provoquera à cause de sa self induction plus grande un décalage du courant; il en résulte que si un même courant alternatif alimente les deux bobines, le disque tournera; c'est le principe des wattmètres et compteurs à champ tournant. Le seul inconvénient de ces appareils si simples est qu'ils ne peuvent être employés que sur des courants alternatifs.

CHAPITRE II

Ampèremètres.

Connaissant tous les principes employés dans les appareils de mesures électriques, il nous est maintenant facile d'étudier leur mode d'emploi pour les mesures électriques les plus courantes.

Les ampèremètres, quel qu'en soit le principe, doivent toujours être insérés, dans le circuit dont on veut mesurer l'intensité; ils peuvent être à fer doux, à cadre mobile, thermiques ou électrodynamiques.

Dans les ampèremètres à fer doux, un fil assez gros pour supporter sans s'échauffer sensiblement le courant total est enroulé autour de la palette de fer doux; pour les fortes intensités, on est conduit à employer des barres ou des feuilles de cuivre, ce qui rend les appareils difficiles à manier.

La seule précaution à observer est de les éloigner de tout aimant ou de tout circuit parcouru par un courant intense, la palette de fer doux pouvant se trouver influencée, ce qui fausserait les indications.

Les ampèremètres à cadre mobile et thermiques comportent presque tous des shunts qui ont pour objet de n'envoyer dans l'appareil de mesure qu'une fraction du courant total. Le même appareil peut alors servir pour des intensités très différentes; il suffit simplement de changer de shunt.

Pour conserver aux appareils leur étalonnage, il faut éviter de raccourcir ou d'allonger les cordons souples qui les relient au shunt, la variation de résis-

tance ainsi introduite suffisant à changer la valeur des indications de l'appareil.

Les appareils à cadre mobile ne sont pas sensibles aux actions extérieures comme les appareils à fer doux, mais il faut éviter de les poser sur des aimants ou sur des dynamos en marche (fig. 39).

Les appareils thermiques ne craignent aucune influence, il faut simplement prendre garde de ne les faire traverser que par le courant normal; si l'on voit l'aiguille dépasser les limites de la graduation, on doit aussitôt retirer l'appareil du circuit, sans quoi le fil fondrait.

Les ampèremètres électrodynamiques ou *électrodynamomètres*

sont constitués par une bobine fixe formée d'un fil gros et court. A l'intérieur de cette bobine, on en dispose une autre parallèlement enroulée avec un fil fin qui est relié en dérivation sur les extrémités de la première bobine, des ressorts spiraux ou tout autre procédé amènent le courant à la bobine mobile.

De cette façon, la bobine à gros fil forme en quelque sorte à la fois le shunt et l'aimant d'un appareil à cadre mobile.

Cet appareil moins sensible que le cadre mobile

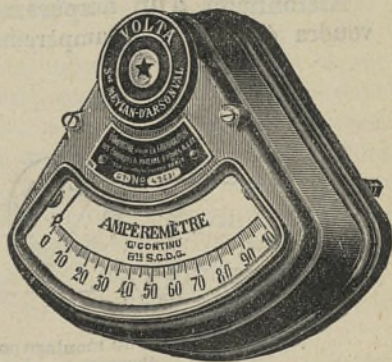


Fig. 39. — Ampèremètre à cadre mobile de tableau de la Compagnie des compteurs.

proprement dit fonctionne aussi bien avec des courants continus ou alternatifs. Il faut l'éloigner des aimants ou des circuits parcourus par des courants intenses.

Les câbles amenant le courant à l'appareil doivent être torsadés, de façon à ne produire aucun effet sur le cadre mobile.

Étalonnage d'un ampèremètre. — Lorsqu'on voudra étalonner un ampèremètre, on réalisera le

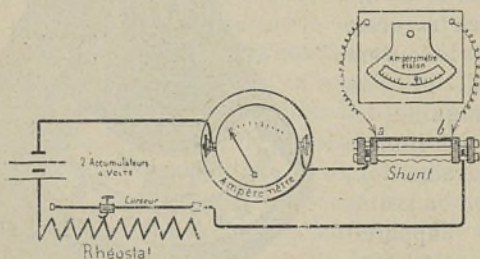


Fig. 40. — Schéma du montage pour la vérification d'un ampèremètre.

montage ci-dessous : une batterie de deux accumulateurs capables de fournir le courant maximum indiqué par l'appareil à étalonner est mise en circuit avec l'ampèremètre à vérifier, un shunt relié à un appareil à cadre mobile étalon, et un rhéostat (fig. 40).

L'ampèremètre étalon à cadre mobile devra être suffisamment éloigné de l'ampèremètre à vérifier, car si ce dernier contient lui-même un aimant, il peut agir sur l'aimant du cadre mobile et fausser les indications. Cette précaution importante est souvent négligée, car rien ne décèle cette cause d'erreur, l'appareil revenant bien au zéro malgré la présence d'un champ magnétique voisin.

On peut se demander comment on pourrait procéder en l'absence de tout appareil étalon ou même pour vérifier un appareil étalon, le seul procédé consisterait à partir de la définition de l'ampère qui est la suivante :

L'ampère peut être représenté par le courant constant traversant une solution d'azotate d'argent dans l'eau qui déposerait 0,001118 gramme d'argent par seconde.

En pratique, pour obtenir une mesure ayant quelque valeur, il faut prolonger l'expérience pendant au moins une heure, la quantité d'argent déposée par un courant d'un ampère en une heure est alors de 4,025 grammes. A défaut d'azotate d'argent, on peut prendre un bain de sulfate de cuivre (solution saturée) et déposer le cuivre sur une plaque de cuivre rouge tarée; la quantité de métal correspondant à un courant de un ampère pendant une heure est de 1,1739 gramme

Le plus difficile dans l'expérience en question est de maintenir le courant rigoureusement constant une ou plusieurs heures, mais avec une batterie d'assez grande capacité convenablement chargée, on peut y arriver aisément.

CHAPITRE III

Voltmètres.

Les voltmètres ne sont à proprement parler que des ampèremètres mesurant des courants faibles.

C'est ainsi que pour réaliser un voltmètre à fer doux, on enroulera sur la bobine de la fig. 32 un fil de cuivre fin et long, à raison de 15 à 20 ohms par volt à mesurer.

Le courant qui traverse l'instrument quand on le branche entre les pôles d'une source d'électricité obéit à la loi d'Ohm; il est

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

I étant l'intensité de ce courant, R la résistance du voltmètre et E la tension à mesurer. Comme pendant l'opération, R ne varie pas, on voit que la mesure de I dépendra de la valeur de E.

On graduera l'instrument en volts, bien qu'il indique en somme des ampères ou des fractions d'ampère.

L'enroulement des voltmètres est fait en fil fin et long, de façon à ce que ces instruments absorbent le moins possible, et l'on peut juger de leur sensibilité rien qu'à l'examen de ce fil.

C'est ainsi que les appareils à fer doux exigent 15 à 20 ohms par volt; les appareils à cadre mobile de beaucoup les plus sensibles, 40 à 50 ohms par volt (fig. 41); les appareils thermiques, 3 à 4 ohms par volt.

Il résulte de ce fait que si l'on veut mesurer la tension d'une pile à grande résistance intérieure ne pouvant pas fournir l'intensité que réclame le voltmètre, on aura une indication erronée.

Prenons par exemple une pile Daniell qui donne 1,08 volt ainsi que l'indiquent toutes les tables; supposons que sa résistance intérieure soit de 3 ohms, ce qui est pratiquement le cas.

Un voltmètre à cadre mobile d'une résistance de 50 ohms nous permettra de lire sensiblement un volt, tandis qu'un voltmètre thermique de 3 ohms ne nous accusera qu'un *demi-volt*.

Il faut donc avant de se servir d'un voltmètre, s'assurer que la source dont on mesure la tension peut fournir sans inconvénient le courant que réclame l'appareil.

C'est ainsi qu'un accumulateur de résistance intérieure voisine de 1 centième d'ohm permettra de lire la même indication sur un voltmètre thermique de 3 ohms ou sur un voltmètre à cadre mobile de 50 ohms, ces deux instruments étant simultanément reliés à ses bornes.

Pour mesurer les forces électromotrices de piles résistantes sans en altérer la valeur, on est conduit à employer des appareils à résistance infinie, c'est-à-dire les *électromètres*.

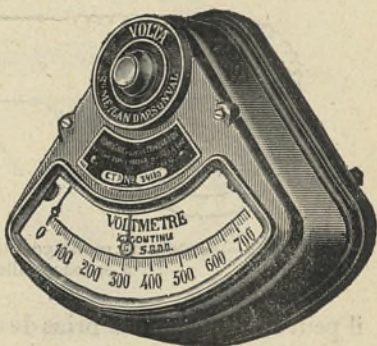


Fig. 41. — Voltmètre à cadre mobile de tableau de la Compagnie des compteurs.

Mais le cas le plus général de l'emploi des voltmètres étant la mesure de la tension de machines ou de batteries d'accumulateurs, le fait que nous avons signalé pour les piles devient négligeable et la mesure devient correcte. Il est bon toutefois de recommander de bien veiller à ce que les fils qui relient la machine ou la batterie d'accumulateurs aux bornes du voltmètre ne touchent pas à la masse métallique de l'instrument. C'est ainsi que si l'on emploie des fils souples,

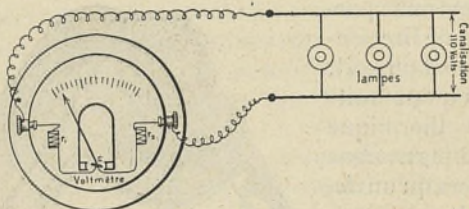


Fig. 42. — Schéma du montage intérieur d'un voltmètre à cadre mobile.

il peut arriver que des brins de ces fils souples provoquent des courts-circuits par leur contact avec le socle de l'appareil au voisinage des bornes. Ces courts-circuits sont d'autant plus dangereux qu'ils se produisent en attachant les fils et qu'ils atteignent la main de l'opérateur qui serre les fils; il peut en résulter des brûlures dangereuses et la mise hors de service de l'instrument.

Les voltmètres à fer doux ont leur fil fin enroulé sur la bobine centrale (fig. 32 à droite); mais avec les cadres mobiles on ne pourrait faire tenir tout le fil sur le cadre *c*, surtout pour des appareils destinés à mesurer des centaines de volts; on dispose alors le fil supplémentaire dans des résistances r_1, r_2 placées dans la boîte, résistances que l'on répartit uniformément

entre chaque borne et le cadre mobile (fig. 42). De cette façon, le cadre est au milieu de la résistance, ce qui est le montage le plus favorable pour la conservation de l'appareil. Si, en effet, la résistance était comprise toute entière entre une des bornes et le cadre, ce dernier aurait besoin d'être très soigneusement isolé de la masse métallique ainsi du reste que

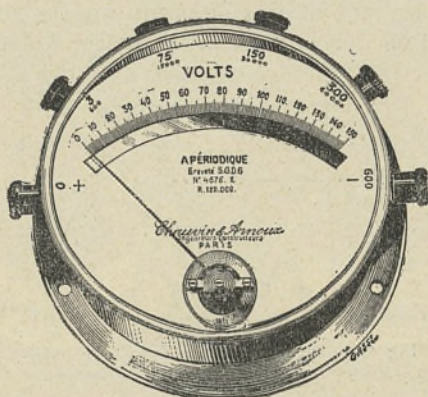


Fig. 43. — Voltmètre Chauvin et Arnoux à plusieurs sensibilités.

les bobines constituant la résistance, tout court-circuit de ces dernières avec la masse pouvant entraîner la destruction de l'instrument. On peut réaliser ainsi des voltmètres à plusieurs sensibilités, rien qu'en intercalant plus ou moins de résistance. Pratiquement ces différentes résistances aboutissent à des bornes disposées autour de l'appareil, chacune d'elles correspondant à une tension différente (fig. 43).

Étalonnage d'un voltmètre. — L'étalonnage d'un voltmètre peut se faire très simplement, si on possède une batterie d'accumulateurs d'un nombre suf-

fisant d'éléments. Il suffit de monter en dérivation sur deux points de la batterie le voltmètre à étalonner en même temps qu'un voltmètre étalon, un électromètre par exemple. En déplaçant les deux points d'attache de fils de façon à insérer plus ou moins d'éléments, on obtient une série d'indications qui permettent de comparer les deux instruments.

Dans les laboratoires on prend une résistance que l'on met en dérivation sur une batterie d'accumula-

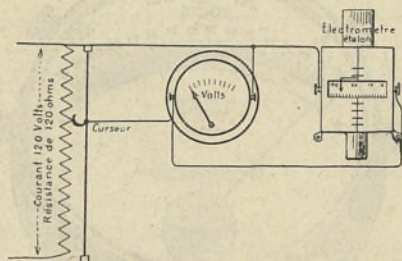


Fig. 44. — Schéma du montage d'une installation pour l'étalonnage de voltmètres.

teurs d'un nombre suffisant d'éléments. Un curseur qui se déplace sur la résistance permet de n'appliquer aux voltmètres que la tension pour laquelle ils sont prévus (fig. 44).

En prenant une résistance étalonnée de 120 ohms pour fixer les idées pouvant varier d'ohm en ohm, nous aurons des variations de volt en volt, si nous maintenons une tension de 120 volts à ses extrémités fournie par 60 éléments d'accumulateurs par exemple.

En déplaçant le long de la résistance un curseur relié à la fois au voltmètre étalon et au voltmètre à étalonner, on fera varier la tension de volt en volt, ce qui permettra de faire l'étalonnage. Il sera encore

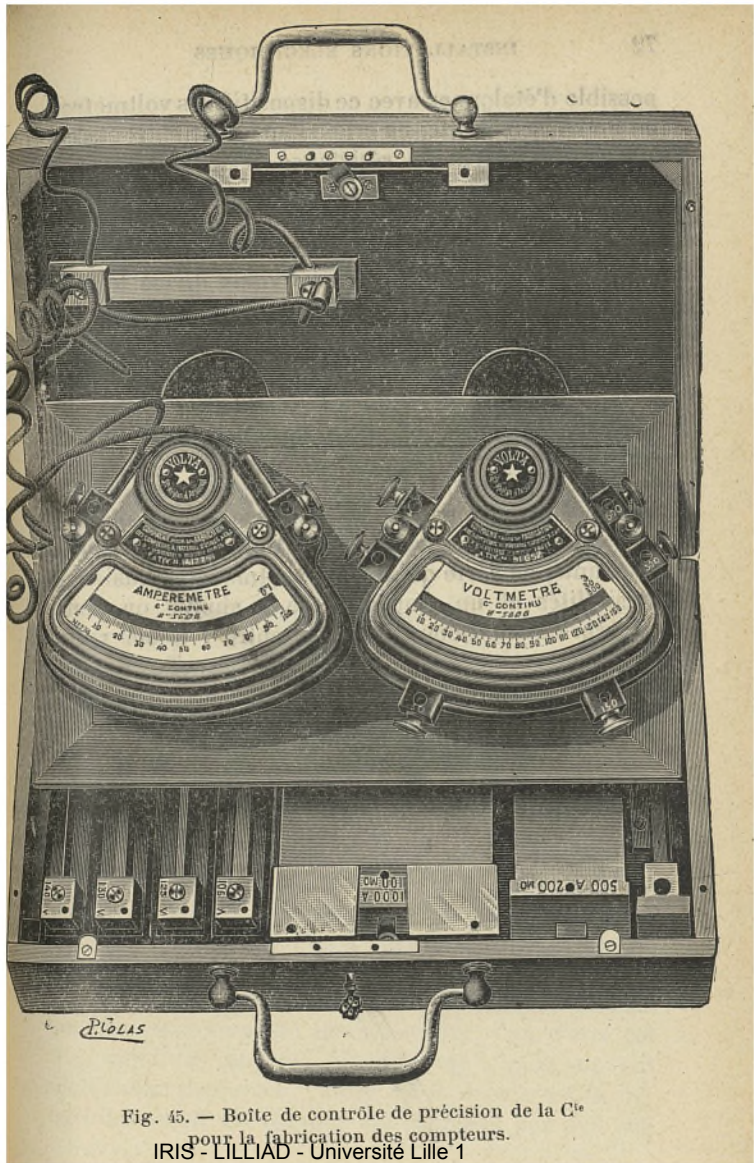


Fig. 45. — Boîte de contrôle de précision de la C^{ie}
 pour la fabrication des compteurs.
 IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

possible d'étalonner avec ce dispositif des voltmètres de toutes sensibilités en branchant le voltmètre étalon aux extrémités de la résistance et le voltmètre à étalonner à une de ces extrémités et au curseur. Chaque touche du curseur correspondant à une résistance de *un ohm* et la résistance totale étant de 120 ohms, c'est comme si nous avons divisé la tension que mesure le voltmètre étalon en 120 parties que nous pouvons faire varier une par une. Il suffit de compter le nombre de ces parties pour connaître la tension exacte auxquelles elles correspondent. On notera en même temps les indications du voltmètre à graduer. On construit aussi des caisses dites de contrôle, qui permettent de vérifier sur place des appareils par comparaison avec des appareils étalons (fig. 45). Ces boîtes contiennent tout un assortiment de shunts, en sorte qu'avec un voltmètre à plusieurs sensibilités et un ampèremètre à shunts on peut mesurer des tensions comprises entre 1 et 600 volts et des intensités de 1 à 1.000 ampères. Une caisse de ce genre permettra donc de vérifier des dynamos d'une puissance pouvant atteindre

$$600 \times 1.000 = 600.000 \text{ watts}$$

soit près de 900 chevaux et cela avec une très grande précision.

CHAPITRE IV

Wattmètres.

Avec les courants continus, on pourrait se dispenser de l'emploi de wattmètres; car il suffit de se servir d'un voltmètre et d'un ampèremètre.

C'est ainsi que la puissance absorbée par un moteur est égale au produit des indications d'un voltmètre relié aux bornes du moteur par celles d'un ampèremètre intercalé dans le circuit de ce même moteur $P = EI$. Mais on remarque que cette mesure nécessite deux lectures pouvant chacune être entachées d'erreur, de plus elle ne convient pas aux courants alternatifs, d'où la nécessité d'un appareil spécial appelé *wattmètre*. Avec le courant alternatif en effet, le

maximum de l'intensité n'ayant pas lieu en général en même temps que le maximum de la tension, on n'est pas en droit de multiplier les indications d'un voltmètre par celles d'un ampèremètre; la puissance ainsi obtenue ne serait qu'une puissance *apparente*.

Les wattmètres sont des appareils basés en général sur les attractions de deux circuits; l'un d'eux est fixe, celui des ampères, il est formé le plus souvent d'un ruban de cuivre, l'autre est mobile, c'est le circuit des volts. Ce dernier est supporté par des res-

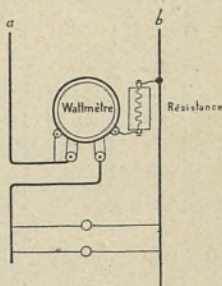


Fig. 46. — Montage d'un wattmètre.

sorts qui suffisent à lui amener le faible courant dont il a besoin et qui servent en même temps à s'opposer au mouvement et à ramener l'aiguille et la bobine mobile au zéro. Une forte résistance placée en série avec le cadre mobile, mais logée à part évite d'employer une bobine comportant un trop grand nombre de tours, ce qui dans le cas des courants alternatifs pourrait être gênant (fig. 46).

Le wattmètre peut se monter dans un circuit de plusieurs façons qu'il importe de bien connaître.

1° Tout d'abord, signalons un montage dangereux

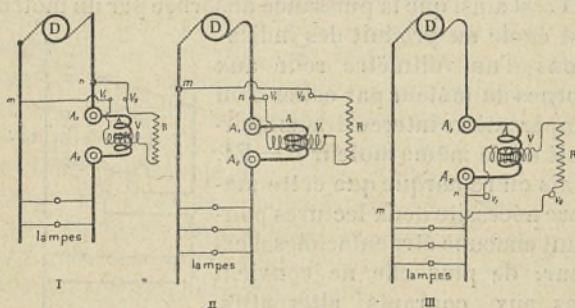


Fig. 47. — Montages divers de wattmètres, I Mauvais montage, II et III Montages corrects.

qui peut amener dans certains cas la destruction de l'appareil.

Ce mauvais montage est représenté (fig. 47-I).

D est la dynamo ou la source d'électricité alimentant par deux fils des lampes dont on voudra par exemple mesurer la consommation.

On intercalera le gros fil du wattmètre (circuit fixe) dans le parcours de l'un quelconque des deux fils en $A_1 A_2$ par exemple, le fil fin V ou bobine mobile est branché entre les fils m et n , en intercalant la résistance R.

Quoique dans ces conditions l'appareil puisse fournir des indications exactes, ce montage n'est pas à employer, parce que la bobine mobile ayant une de ses extrémités en communication directe, sans résis-

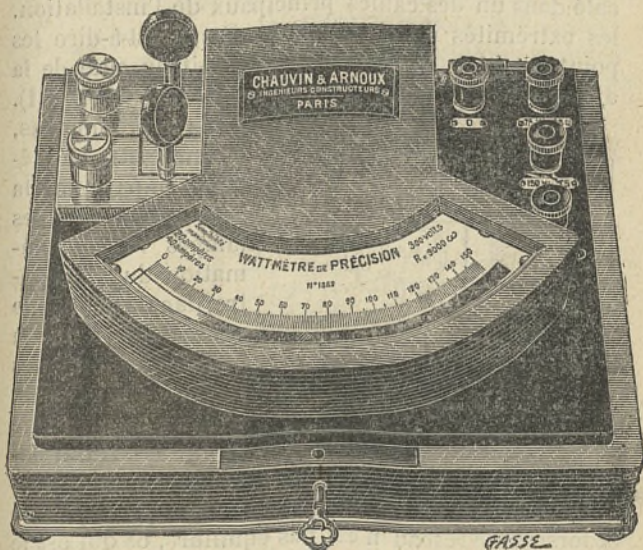


Fig. 48. — Wattmètre de précision de MM. Chauvin et Arnoux.

tance, avec le pôle m qui est celui opposé à n , il y aura entre la bobine V et la bobine fixe A la même tension qu'entre m et n , soit la tension maximum de la dynamo.

Comme ces deux bobines sont très voisines et se touchent presque, un court-circuit peut s'établir et provoquer la destruction de l'instrument.

On évitera facilement un accident de ce genre en intercalant la résistance R non plus entre la bobine V et le point n , mais entre m et V ; de cette façon, le

cadre mobile et la bobine à gros fil seront sensiblement à la même tension et il ne pourra rien en résulter de grave, si elles viennent à se toucher.

2° Le gros fil ou circuit des ampères étant intercalé dans un des câbles principaux de l'installation, les extrémités du circuit des volts, c'est-à-dire les points *m* et *n* peuvent être pris soit du côté de la dynamo (fig. 47-II), soit du côté des lampes (fig. 47-III).

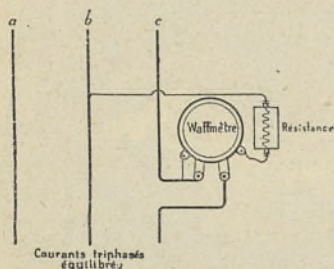


Fig. 49. — Montage d'un wattmètre sur courants triphasés équilibrés.

Dans le premier cas, on enregistre en même temps que la consommation des lampes la consommation du wattmètre; dans le deuxième on enregistre que la consommation des lampes. En général, c'est le montage de la fig. 47-III qui devra être employé.

Dans le cas de la mesure des courants triphasés et lorsque le réseau n'est pas équilibré, ce qui est le cas le plus général on devra monter *deux wattmètres*; les gros fils de ces appareils sont intercalés l'un dans le trajet de l'un quelconque des trois fils de la distribution, l'autre gros fil dans le trajet d'un des deux fils restants (fig. 50).

Les enroulements à fil fin des deux wattmètres ont une de leurs extrémités reliée au gros fil, et l'autre à un point commun pris sur le 3^e fil de la distribution, comme l'indique le schéma. Dans certains appareils, notamment dans les compteurs triphasés, on réunit les deux wattmètres dans une seule boîte, ce qui rend la pose plus facile, mais le mon-

tage reste le même. On devra pour faire une mesure totaliser les indications des deux wattmètres, l'opération se réalise toute seule dans les compteurs, grâce à la précaution que prennent les constructeurs de monter les parties tournantes sur le même axe ce qui permet aux effets de s'ajouter.

Étalonnage d'un wattmètre. — Pour étalonner un wattmètre, il suffira de le monter en circuit avec

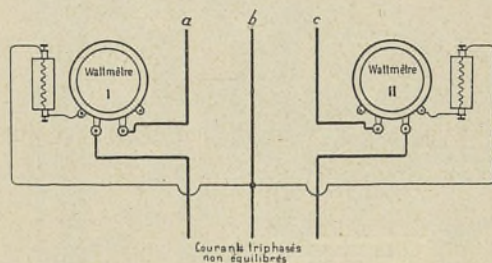


Fig. 50. — Mesure de la puissance à l'aide de deux wattmètres sur circuits triphasés non équilibrés.

un wattmètre étalon; c'est ce que l'on fait pour les compteurs; on aura bien soin dans ce cas de brancher les fils fins des deux appareils exactement sur les mêmes points, si l'on ne veut pas introduire d'erreur.

Dans les laboratoires pour ne pas dépenser inutilement une puissance au moins égale à celle qu'indique le wattmètre, on emploie le procédé suivant :

Le circuit à gros fil du wattmètre est monté comme dans le cas de l'étalonnage d'un ampèremètre, en série avec un rhéostat, un ampèremètre étalon et 2 éléments d'accumulateurs.

Le circuit à fil fin est relié aux bornes d'un voltmètre étalon, recevant une tension *constante* d'une

petite batterie de 50 à 60 éléments par exemple, si le wattmètre est construit pour 120 volts.

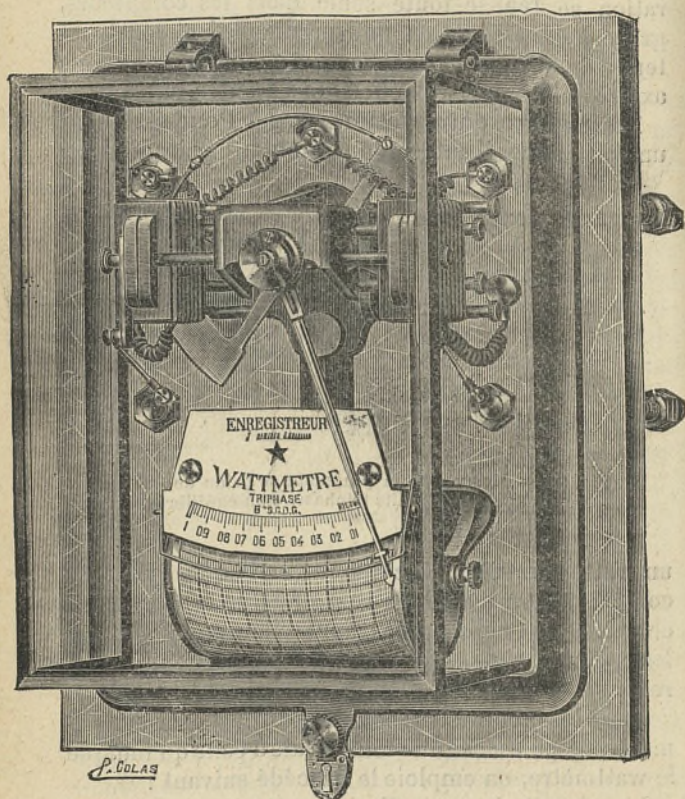


Fig. 51. — Wattmètre enregistreur pour courants triphasés de la C^o pour la fabrication des compteurs.

On observe une déviation que l'on lit, puis on fait le produit des indications du voltmètre par celles de l'ampèremètre que l'on note.

En faisant varier l'intensité à l'aide du rhéostat, on peut vérifier le wattmètre sur toute l'étendue de sa graduation.

Ce procédé ne met en jeu qu'une puissance fictive et évite de dépenser inutilement le courant.

Naturellement, ce montage qui utilise des batteries d'accumulateurs ne convient qu'aux wattmètres électrodynamiques; il ne vaudrait rien avec des wattmètres à champ tournant, sur lesquels seul le courant alternatif peut être employé.

On construit également des wattmètres enregistreurs très utiles dans les usines dont ils permettent de contrôler le fonctionnement des machines. Dans ces appareils comme dans les voltmètres et les ampèremètres enregistreurs, l'aiguille se termine par une plume imbibée d'encre qui vient appuyer très légèrement sur une feuille de papier (fig. 51). Cette feuille est entraînée par un mouvement d'horlogerie en sorte que l'appareil trace la courbe de la puissance en fonction du temps, la mesure de la surface permet d'évaluer l'énergie électrique mise en jeu, tout en présentant l'avantage sur les compteurs de laisser une trace fidèle des variations de la puissance pendant que dure le défilement de la bande de papier.

CHAPITRE V

Compteurs électriques.

Les compteurs électriques se divisent en plusieurs classes; mais les plus répandus aujourd'hui sont *a)* les compteurs de quantité ou ampères-heure-mètres; *b)* les compteurs d'énergie ou watts-heure-mètres.

Ces appareils sont généralement constitués par des moteurs électriques extrêmement sensibles que le courant fait tourner.

a) Compteurs de quantité d'électricité. — Les ampères-heure-mètres, vraies petites magnétos comportent un aimant fixe entre les pôles duquel peut tourner un petit induit dont l'axe est monté sur des pivots en pierre fine.

Le collecteur en or ou en argent comporte 7 à 8 touches; il reçoit le courant de 4 petits balais formés de lames très souples qui ne frottent que sur la tranche.

Au lieu de faire passer dans l'appareil le courant total de l'installation, on se contente de dériver ce courant sur un shunt comme dans les ampèremètres à cadre mobile.

Un des compteurs de ce genre très répandu aujourd'hui est le compteur O'K, dont la sensibilité est telle qu'il tourne avec des courants inférieurs à $\frac{1}{300}$ d'ampère (fig. 52).

Le nombre de tours que fait l'axe de l'induit est indiqué par une minuterie graduée en ampères-heure.

Ces compteurs sont très bon marché, vu leur sim-

plicité, leur seul défaut est de ne pouvoir fonctionner sur les courants alternatifs.

b) *Compteurs d'énergie.* — Remplaçons dans le compteur précédent l'aimant par deux bobines analogues aux inducteurs d'une dynamo. Si nous faisons traverser ces bobines par le courant total de l'installation, tandis que l'induit est comme dans le wattmètre mis en série avec une résistance et soumis à la tension de la canalisation, nous aurons un compteur d'énergie (fig. 53).

En réalité, pour que la vitesse de l'appareil reste exactement proportionnelle à la puissance, on dispose sur l'axe de l'induit un disque de cuivre se déplaçant entre les pôles de plusieurs aimants qui forment frein.

Les compteurs de ce genre les plus employés sont les compteurs Thomson (fig. 54), Vulcain, etc.

Comme les wattmètres auxquels ils ressemblent, ils peuvent être étalonnés sur courant continu, nous verrons du reste plus loin comment se fait la vérification de ces appareils.

Les compteurs Thomson et Vulcain conviennent également bien pour les courants continus et les courants alternatifs, mais depuis quelque temps, on

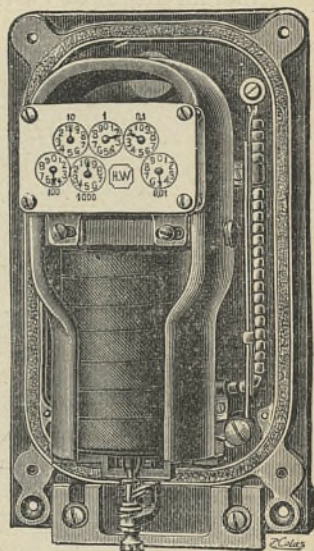


Fig. 52. — Compteur O'Keenan de la C^{ie} des Compteurs.

tend à employer sur les réseaux alternatifs des compteurs dits « à champ tournant » beaucoup plus simples et bien meilleur marché.

Ces compteurs très nombreux aujourd'hui (Batault, ACT, etc.) (fig. 55) comprennent comme organe principal un disque de cuivre ou d'aluminium monté

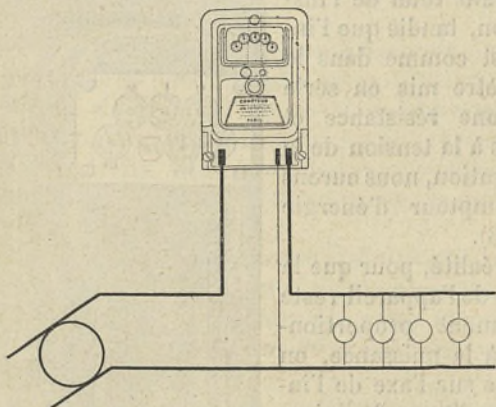


Fig. 53. — Montage d'un compteur d'énergie.

sur un axe reposant par des pivots sur des pierres fines qui lui assurent une grande mobilité.

Sur ce disque, on fait agir : 1° un électro-aimant parcouru, par le courant total de l'installation, c'est le circuit des ampères et 2° un autre électro-aimant recouvert de fil fin formant le circuit des volts. Comme la bobine à fil fin comporte un nombre de tours de fil bien plus grand que la bobine à gros fil, sa self-induction est plus élevée, ce qui a pour effet de retarder le courant qui la traverse. Il s'en suit que le maximum du courant n'a pas lieu au même instant dans les deux bobines absolument comme si elles étaient

alimentées par des courants diphasés. Il en résulte comme dans les moteurs à cage d'écurueil un champ tournant qui tend à entraîner le disque.

Ici encore pour rendre la vitesse du disque propor-

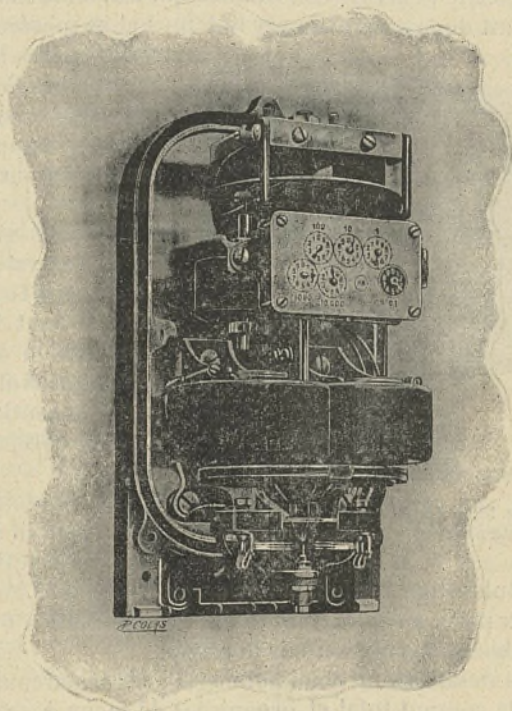


Fig. 54. — Compteur d'énergie de la C^e
pour la fabrication des Compteurs.

tionnelle à la puissance, on dispose un ou plusieurs aimants dans le voisinage du disque, dont le rôle est de servir de frein. En déplaçant par tâtonnements ces

aimants, on arrive à faire en sorte que le disque tourne avec une vitesse proportionnelle à la puissance électrique.

Le nombre de tours pendant un temps donné représente l'énergie consommée qui est, on le sait, le produit de la puissance par le temps et se mesure en

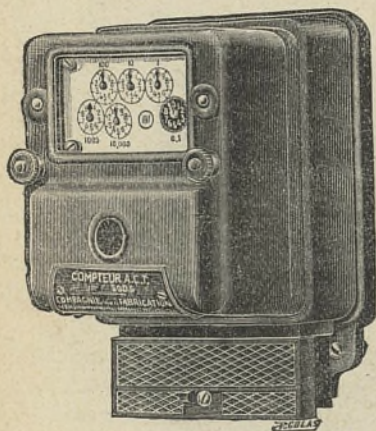


Fig. 55. — Compteur A C T à champ tournant de la C^e des Compteurs.

watts-heures, hectowatts-heures ou kilowatts-heures suivant l'importance des installations.

Il existe enfin un autre système de compteurs fonctionnant également bien avec des courants alternatifs ou continus, c'est le compteur Aron.

Cet appareil est formé par la juxtaposition de deux

pendules dont les balanciers seraient égaux. Chacun d'eux porte à son extrémité une bobine plate à fil fin montée en dérivation sur le réseau.

Au-dessous sont deux bobines à gros fil parcourues par le courant total et organisées de façon à ce que pour l'une, il y ait attraction de la bobine à fil fin et répulsion pour l'autre.

Tant qu'aucun courant ne passe dans les bobines à gros fil, les balanciers étant égaux oscillent en même temps à la façon de ceux de deux pendules identiques bien réglés.

Si un courant même très faible circule dans les bobines à gros fil les oscillations de l'un des pendules tendent à être retardées, tandis qu'elles sont accélérées pour l'autre.

Un mécanisme liant les mouvements des deux pendules permet d'enregistrer la différence de marche qui en résulte, différence que l'on arrive à rendre proportionnelle à l'énergie électrique traversant le compteur.

Ce système très élégant puisqu'il supprime l'entretien du collecteur et des balais, source d'ennui des compteurs moteurs de la première catégorie, est excessivement sensible; malheureusement, il nécessite le remontage des mouvements d'horlogerie, remontage que l'on faisait à la main tous les mois en relevant le compteur. Depuis quelque temps, cet inconvénient a été supprimé, les inventeurs ayant organisé un système de remontage électrique automatique.

Lecture des compteurs. — La lecture des cadrans des compteurs présente certaines difficultés tenant à ce que les aiguilles ne tournent pas toujours dans le même sens et qu'il peut y avoir indécision quand l'une d'elles est très près d'un des chiffres de la graduation.

Nous donnons ci-dessous plusieurs exemples des cas qui peuvent se présenter, pour lesquels il pourrait y avoir indécision, la règle à suivre est la suivante :

Inscrire de gauche à droite et en commençant par le cadran le plus fort les chiffres indiqués de centaines de mille, dizaines de mille, mille centaines, dizaines et unités, en prenant toujours le plus *petit* des deux chiffres entre lesquels chaque aiguille se trouve.

Le seul cas où il puisse y avoir hésitation est celui où une aiguille est très voisine d'un zéro. Pour savoir si l'on doit prendre le chiffre voisin ou celui qui précède, on regarde l'aiguille suivante qui est forcément dans le voisinage du zéro. Si elle n'est pas encore

arrivée au zéro, on prendra le chiffre qui précède celui sur lequel l'aiguille se trouve.

Si elle a dépassé le zéro, on prendra le chiffre sur lequel l'aiguille se trouve.

La règle est la même quel que soit le nombre des cadrans.

C'est ainsi que la cote marquée par le compteur (fig. 56 en haut) s'écrira 16.738 et celle marquée par l'autre compteur est 226.316.

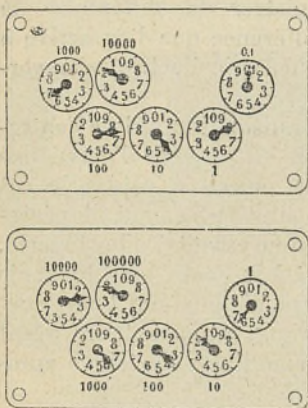


Fig. 55. — Exemples pour la lecture d'un compteur.

Étalonnage des compteurs. — Le procédé le plus simple qui vient à l'esprit de chacun consiste à intercaler un wattmètre ou un compteur étalon et de comparer les chiffres marqués au bout d'un certain temps. Mais ce procédé, à part qu'il oblige à dépenser une quantité d'énergie assez considérable pour avoir un déplacement appréciable des aiguilles nécessite un temps assez long, ce qui fait qu'on ne l'emploie que rarement.

On préfère compter pendant un temps donné, une minute par exemple, le nombre de tours du disque ou de l'induit du moteur du compteur. Un chiffre placé le plus souvent sur l'appareil indique le rap-

port qui existe entre un certain nombre de tours de l'induit ou du disque et l'énergie électrique nécessaire pour faire produire au compteur ce nombre de tours.

Ce rapport est la *constante* du compteur ; dans les modèles récents, ce chiffre s'indique de la façon suivante qui ne prête à aucune ambiguïté :

Un tour du disque vaut 0,278 watt-heure.

Pour compter facilement le nombre de tours du disque du compteur dans un temps donné, sans ouvrir l'instrument, on regarde par la fenêtre des cadrans en s'aidant d'une lampe et on voit sur l'induit ou sur le disque, soit une tache blanche, soit une marque noire qui sert de repère.

L'appareil étant mis en circuit avec un wattmètre étalon, on allume les lampes à incandescence de l'installation et on lit les indications du wattmètre. Puis pendant qu'un opérateur veille à ce que l'aiguille du wattmètre ne varie pas de position, un autre opérateur s'aidant d'une montre à secondes compte un nombre donné de tours du disque et relève sur la montre le temps mis à les obtenir.

Il est bon pour ne pas faire d'erreur de compter *zéro* au moment du premier passage du repère. On déclenche en même temps le chronomètre où on note la position de l'aiguille des secondes de la montre.

Au second passage du repère, on compte *un*, puis *deux*, puis *trois*, *quatre*, et on arrête le chronomètre où on note la nouvelle position de l'aiguille des secondes.

Supposons qu'il ait fallu 52 secondes pour faire 4 tours, si la constante du compteur inscrite sur l'enveloppe de l'appareil est telle par exemple que

$$1 \text{ tour du disque} = 0,278 \text{ watt-heure.}$$

nous dirons : le disque ayant mis 52 secondes pour faire 4 tours, met $\frac{52}{4} = 13$ secondes pour faire un tour.

En une heure, ou 3.600 secondes, il fera donc

$$\frac{3.600}{13} = 277 \text{ tours}$$

Or, comme un tour équivaut à 0,278 watt-heure, 277 tours représenteront $277 \times 0,278 = 77$ watts-heure.

La formule est du reste bien facile à retenir; appelons K la constante du compteur, c'est-à-dire dans le cas précédent le nombre 0,278, si on trouve en chronométrant que le compteur fait N tours, en T secondes la formule donnant le nombre de watts-heure est :

$$W = \frac{3.600 \times K \times N}{T}$$

Nous pouvons vérifier le cas précédent, en remplaçant les lettres par leur valeur, nous avons bien :

$$W = \frac{3.600 \times 0,278 \times 4}{52} = 77 \text{ watts-heure.}$$

Si l'on n'a pas de wattmètre, on peut encore se faire une idée, très approximative il est vrai, de la marche du compteur en utilisant des lampes à incandescence. C'est ainsi qu'une lampe à filament de charbon de 16 bougies à 110 ou 120 volts dépense en moyenne 50 watts. Si nous allumons 3 de ces lampes, le compteur devra enregistrer 150 watts par heure; si nous en allumons 8, le compteur marquera en une heure $8 \times 50 = 400$ watts-heures, etc.

Une vérification qu'il est bon de faire et qui est très facile est de s'assurer que le compteur *ne marque pas à vide*; pour cela, on éteindra successivement toutes les lampes et en laissant le courant sur

l'installation, on examinera attentivement le disque ou l'induit du compteur.

Si l'installation est bien isolée et le compteur bien réglé, on ne devra pas le voir tourner au bout de cinq minutes d'observation. Si le disque ou l'induit tourne, cela provient soit d'un mauvais isolement, soit d'un dérèglement. Hâtons-nous de dire qu'il faut que l'isolement soit descendu très bas pour faire tourner le compteur; en général, les défauts que l'on constate sur les installations ne suffisent pas à provoquer le marche à vide du compteur.

Au contraire, si l'appareil est fixé contre un mur soumis à des trépidations, il peut se faire qu'il tourne lentement à vide; on devra en ce cas prévenir la compagnie qui procédera à un réglage sur place.

Dans certaines installations, on préfère employer à la place du compteur un *limiteur de courant*; cet appareil, comme son nom l'indique, ne laisse passer que juste le courant correspondant à l'intensité souscrite par l'abonné.

Ainsi un abonné qui paiera pour 5 lampes recevra un limiteur qui interrompra le courant, dès qu'une sixième lampe sera allumée. Ces appareils ne plongent pas l'abonné dans l'obscurité complète, ils fonctionnent comme un mécanisme de sonnerie interrompant périodiquement la lumière; cela permet de se diriger jusqu'aux interrupteurs pour pouvoir éteindre les lampes en supplément et ramener le courant à la valeur normale.

Ces appareils ont pour les compagnies exploitantes l'avantage de revenir moins chers que les compteurs; aussi en fait-on un fréquent emploi.

CHAPITRE VI

Ohmmètres.

La mesure des résistances électriques est certainement une de celles auxquelles l'électricien fait le plus souvent appel, soit pour connaître la valeur de la résistance d'une bobine, d'un électro-aimant ou d'un inducteur de dynamo par exemple, soit pour évaluer l'isolement d'une installation.

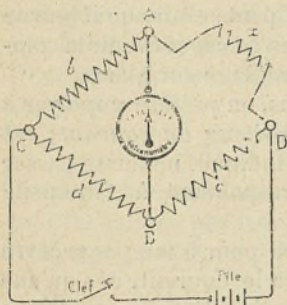


Fig. 57. — Schéma du montage du Pont de Wheatstone.

Les moyens employés pour mesurer une résistance électrique sont en général basés sur le pont de Wheatstone dont il importe de connaître le principe.

On dispose en forme de quadrilatère quatre résistances b , c , d , x , parmi lesquelles b , c , d sont des résistances étalon, connues par conséquent, et x la résistance à mesurer. (fig. 57).

Deux sommets quelconques C et D par exemple de ce quadrilatère sont reliés à une pile dont on peut fermer le circuit à l'aide d'une clef.

Les deux autres sommets A et B sont reliés entre eux au travers d'un galvanoscope sensible (appareil pouvant déceler des courants même très faibles).

Les choses étant ainsi disposées, en fermant la clef

de pile, on voit l'aiguille du galvanoscope dévier; on agit alors sur les résistances étalon b , c , d , que l'on fait varier jusqu'à ce que l'aiguille du galvanoscope soit au zéro; à ce moment, il suffit de lire la valeur des résistances étalon pour avoir la valeur x de la résistance cherchée, x est en effet égal à $\frac{bc}{d}$.

En somme, cette mesure est tout à fait comparable à une pesée; on appelle c et d les deux bras du pont; que nous pourrions assimiler aux deux fléaux d'une balance par exemple, b sera le poids que l'on met dans un des plateaux pour équilibrer x situé dans l'autre.

Dans le cas du pont de Wheatstone de même que dans une balance, si les deux bras de fléau sont égaux, si $c = d$, les poids situés dans un plateau, b par exemple représenteront ceux de l'autre x , quand l'équilibre sera obtenu, c'est-à-dire dans le cas du pont, quand le galvanoscope sera au zéro.

En faisant varier les bras c et d qui sont des bras de proportion, on se trouve dans le cas d'une balance romaine où l'on change le bras de levier.

C'est ainsi que si $c = 10$ et $d = 100$, le rapport $\frac{c}{d}$
 $= \frac{10}{100} = \frac{1}{10}$ et chaque fois qu'il y aura équilibre, on aura $x = \frac{1}{10} b$.

Naturellement, on peut réaliser un rapport quelconque, ce qui permettra de mesurer des résistances même très différentes c'est ainsi qu'avec une bascule on peut avec une masse d'un ou deux kilogrammes évaluer des centaines de kilogrammes, grâce à l'amplification des leviers.

Ohmmètre Chauvin et Arnoux. — C'est sur le principe du pont de Wheatstone qu'est basé l'ohm-

mètre de MM. Chauvin et Arnoux très répandu aujourd'hui (fig. 58 et 59).

Au lieu de disposer les résistances en quadrilatère, ce qui entraînerait l'emploi d'un appareil trop encombrant, on les réunit dans une boîte qui contient également le galvanoscope.

Pour faire varier facilement le rapport $\frac{c}{d}$, on a constitué les résistances c et d par un fil très fin en maillechort enroulé en spirale sur une baguette isolante. Sur la partie dénudée de ces spires vient frotter un

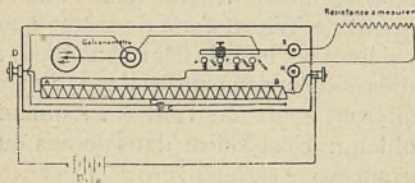


Fig. 58. — Schéma de montage de l'ohmmètre Chauvin et Arnoux.

curseur se déplaçant le long d'une règle graduée qui est le sommet B du pont.

De cette façon, on fait varier à volonté

le rapport $\frac{c}{d}$;

ainsi quand le curseur est au milieu, il y a autant de résistance d'un côté que de l'autre et $c = d$; s'il y a équilibre dans ces conditions c'est que $x = c$, on est dans les conditions, d'une balance à fléaux égaux; au contraire, en déplaçant le curseur soit d'un côté, soit de l'autre, on fait varier le rapport des bras de fléau.

Dans l'ohmmètre Chauvin et Arnoux la résistance b est constituée par un curseur mobile insérant des résistances variant comme les nombres 10, 100, 1.000, 10.000, etc. Le montage du pont est du reste conforme au schéma précédent. La pile aboutit par les bornes E et D aux deux extrémités de la résistance formant

les deux côtés développés du quadrilatère; tandis que le galvanoscope aboutit d'une part au curseur C formant un des autres sommets et d'autre part à la jonction de la résistance X et de la résistance *b*. (fig. 59.)

Fonctionnement. — La résistance à mesurer étant reliée par des fils aux bornes XX, on appuie sur

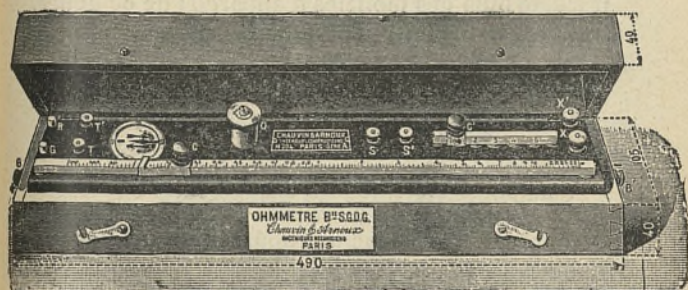


Fig. 59. — Vue d'ensemble de l'ohmmètre Chauvin et Arnoux.

deux petits boutons R et C placés sur la boîte qui ferment l'un la clef de pile, l'autre la clef du galvanoscope et on observe la déviation de ce dernier. On agit ensuite sur le curseur C que l'on pousse tout le long de la règle graduée jusqu'à ce que l'on voie revenir l'aiguille du galvanomètre entre deux traits de repère tracés sur le cadran.

On lit la division correspondante de la règle graduée que l'on multiplie par le chiffre indiqué par le curseur C' (fig. 59).

Pour avoir le maximum de précision, on doit toujours faire en sorte que l'équilibre soit obtenu avec le curseur C au milieu de la règle; on y arrive en agissant sur le 2^e curseur C' qui fait changer le chiffre

par lequel on doit multiplier les indications de la règle.

Ohmmètres à lecture directe. — Dans le but de rendre les mesures plus rapides et plus faciles, particulièrement les mesures d'isolement, les constructeurs ont imaginé des appareils donnant par simple lecture sur un cadran la résistance d'isolement cherché.

Il existe bien des modèles d'appareils de ce genre, citons tout d'abord l'ohmmètre à magnéto de M. Carpentier.

Cet appareil se compose de deux boîtes rendues portatives renfermant l'une un appareil à cadre mobile ressemblant extérieurement à un voltmètre, et l'autre une magnéto destinée à remplacer la batterie de piles du pont précédent.

Le montage est très facile, l'appareil porte 4 bornes, deux bornes « magnéto » marquées + et - que l'on relie par deux fils souples aux bornes correspondantes + et - de la magnéto et deux bornes L que l'on met l'une à la terre (conduite de gaz ou d'eau, lame de couteau enfouie dans le sol humide, etc.), s'il s'agit d'une mesure d'isolement, et l'autre en relation avec la canalisation à vérifier (1).

Pour faire la mesure, on tourne la manivelle de la magnéto et on voit aussitôt l'aiguille de l'ohmmètre se fixer sur une division du cadran; on lit cette division qui représente la valeur de l'isolement cherché (fig. 60).

Pour augmenter la sensibilité de l'appareil, on a placé comme dans l'appareil précédent un petit cur-

(1) Le courant doit être retiré de la canalisation au moment de faire la mesure.

seur avec 3 touches marquées 1, 10, 100. Suivant que le curseur est sur telle ou telle des trois touches, on devra multiplier les indications de l'appareil par 1, 10, 100.

Remarque. — La magnéto qui fournit le courant nécessaire est toujours préférable aux piles; elle a

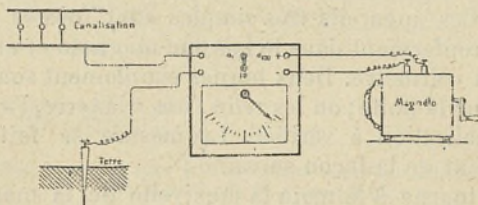


Fig. 60. — Schéma du montage pour la mesure d'un isolement avec l'ohmmètre Carpentier à magnéto.

d'abord comme avantage d'être toujours prête à fonctionner sans s'user à circuit ouvert comme s'usent toutes les piles à liquide immobilisé; ensuite elle permet d'essayer l'installation à une tension au moins égale à celle avec laquelle elle doit fonctionner, ce qui permet de mettre en évidence bien des défauts d'isolement.

De même qu'une chaudière à vapeur est toujours essayée à une tension double de celle à laquelle on la soumet en régime normal, de même une canalisation électrique doit pouvoir supporter une tension double et quelquefois triple de celle qui lui sera appliquée.

La magnéto Carpentier qui permet d'atteindre 100 à 200 volts conviendra donc très bien pour les canalisations courantes à basse tension.

Les isollements s'évaluent généralement en *még-*

ohms, c'est-à-dire en millions d'ohms; une canalisation d'appartement qui n'aurait que quelques milliers d'ohms demanderait à être visitée, car un tel isolement est insuffisant pour une petite installation.

Il existe d'autres ohmmètres à lecture directe, dont le principe repose sur celui de la mesure d'un isolement par la méthode du voltmètre décrite ci-dessous. Ces appareils très simples sont formés d'une boîte renfermant dans le bas une magnéto et au-dessus un voltmètre. Deux bornes simplement sont placées sur la boîte; on les relie l'une à la terre, l'autre à la canalisation à vérifier. La mesure se fait très aisément de la façon suivante :

On tourne à la main la manivelle de la magnéto en appuyant sur un petit bouton placé à côté du cadran de l'ohmmètre; l'aiguille dévie et on règle l'allure de la manivelle jusqu'à ce qu'on maintienne la déviation sur une flèche tracée sur le cadran.

A ce moment, on abandonne brusquement le bouton en continuant à tourner la manivelle toujours à la même allure, l'aiguille indique alors la valeur de l'isolement cherché.

Mesure des isolements par la méthode du voltmètre. — On peut à l'aide d'un simple voltmètre mesurer un isolement; voici comment l'on procède.

Supposons qu'il s'agisse de mesurer l'isolement d'une installation de lampes dans un appartement ou celui d'une machine et admettons que l'on puisse séparer un instant cette installation du réseau qui l'alimente.

Nous prendrons un voltmètre de résistance connue (généralement la résistance de l'appareil est inscrite sur le cadran), nous mesurerons : 1° la tension entre les deux fils du réseau, soit $E = 120$ volts cette tension; 2° reliant un des fils du réseau provisoire-

ment à la terre et l'autre à l'installation en intercalant le voltmètre, nous lisons une nouvelle déviation e du voltmètre.

Quelle sera la résistance d'isolement?

Nous avons dans ce dernier cas, en désignant par

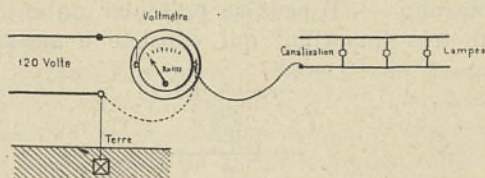


Fig. 61. — Mesure de l'isolement d'une installation par la méthode du voltmètre.

x la résistance d'isolement cherchée, et r la résistance connue du voltmètre (fig. 61).

$I = \frac{E}{R + x}$, or I ou l'intensité du courant traversant

le voltmètre à cet instant est aussi égal à $\frac{e}{R}$; e étant la tension en volts qui existe entre les bornes du voltmètre de résistance R tension marquée par l'aiguille, on a donc $\frac{E}{R + x} = \frac{e}{R}$

d'où on tire $x = R \left(\frac{E - e}{e} \right)$.

Prenons un exemple; supposons $E = 120$ volts, un voltmètre de résistance $R = 22.000$ ohms et admettons que la déviation du voltmètre $e = 15$ volts, quand il sert de jonction entre la canalisation et le réseau (ce dernier ayant un de ses pôles à la terre).

Nous avons $x = 22.000 \times \frac{120 - 15}{15} = 22.000 \times 7 = 154.000$ ohms.

On voit tout de suite que si la canalisation essayée a un de ses points à la terre, le courant circulant librement $e = 120$ volts et la formule indique bien un isolement nul.

Mesure de la valeur de l'isolement d'un réseau en marche. — Il peut se présenter un autre problème très important qui consiste à mesurer la

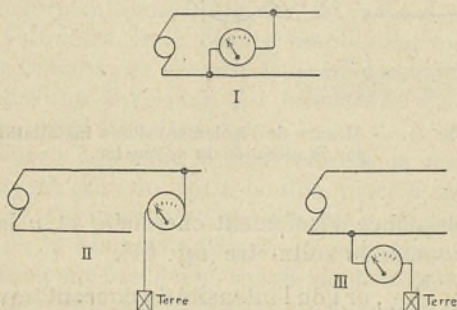


Fig. 62. — Mesure de l'isolement d'un réseau par la méthode du voltmètre.

valeur de l'isolement d'un réseau, tandis qu'il est en activité. Nous supposons que l'on ne peut faire aucune coupure ni arrêter quoi que ce soit. On y arrive très aisément en se servant encore du voltmètre.

1° On fait une première mesure en intercalant le voltmètre de résistance R entre les fils, soit E la tension marquée par l'appareil :

2° On relie le voltmètre à la terre par une de ses bornes et à un des fils du réseau par l'autre, on note la déviation e ;

3° On répète cette opération sur l'autre fil du réseau, une des bornes du voltmètre étant à la terre,

l'autre sur le deuxième fil du réseau, soit e' la nouvelle déviation (fig. 62).

La résistance d'isolement est $X = R \left(\frac{E}{e + e'} - 1 \right)$.

La démonstration de cette formule nous entraînerait trop loin; il suffira de la connaître pour pouvoir l'appliquer.

Indicateurs de terre. — Dans l'exploitation d'un réseau, on ne peut songer à faire constamment la mesure de l'isolement de ce réseau, et cependant, il est très important de savoir si les deux fils restent

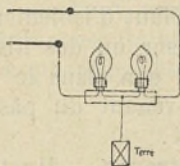


Fig. 63. — Indicateur de terre avec lampes.

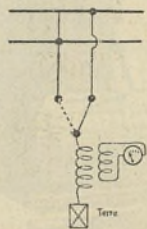


Fig. 64. — Indicateur de terre pour courant alternatif.

bien isolés et s'il ne se produit pas de contact avec le sol.

On est facilement renseigné sur ce point par l'emploi des *indicateurs de terre*.

Ces appareils très simples, mais aussi très grossiers quant à leurs indications, se composent de deux lampes à incandescence montées en tension et branchées entre les deux fils du réseau à surveiller. La jonction reliant les deux lampes entre elles est mise à la terre. Tant que les deux fils restent également isolés, il est facile de voir que l'éclat des deux lampes restera le même, mais si un des fils se met à la terre,

on voit que les deux extrémités des fils de la lampe la plus voisine seront reliées à la terre et la lampe n'éclairera pas; au contraire, l'autre lampe recevra la tension totale et brillera d'un vif éclat (fig. 63). En prenant deux lampes de couleur différente, l'attention sera tout de suite appelée.

Sur les réseaux à courant alternatif, on peut surveiller l'isolement en prenant un petit transformateur dont un des enroulements est relié à un téléphone et l'autre à la terre d'une part et à un des deux fils de la canalisation d'autre part (fig. 64).

Si un défaut d'isolement se manifeste sur un des fils, on entend un son dans le téléphone provenant du passage du courant.

Enregistreurs. — Il est souvent intéressant de conserver une trace des indications d'un appareil de mesure pendant un temps donné : un jour ou une semaine par exemple, on fait alors usage d'appareils en-

Fig. 65. — Ampèremètre enregistreur de MM. Chauvin et Arnoux.

registreurs. Très simples, les enregistreurs, se composent généralement d'un appareil de mesure du genre de ceux que nous avons déjà décrits (ampèremètre, voltmètre, wattmètre, etc.) mais possédant un équipage mobile plus grand et plus puissant que dans les appareils ordinaires. L'aiguille se termine par une petite plume spéciale imbibée d'encre; elle vient tracer la courbe des variations sur un papier qui se déroule uniformément devant elle sous l'action

d'un mouvement d'horlogerie contenu dans un tambour (fig. 65). L'encre à employer est une encre spéciale qui ne sèche que très difficilement (à base de glycérine) de cette façon la plume peut fonctionner longtemps sans s'encrasser.

Enfin, dans les observatoires ou lorsque la déviation à enregistrer demande à être amplifiée, on se contente de mettre à la place de l'aiguille un petit miroir qui envoie un rayon lumineux sur une bande de papier photographique disposée dans l'obscurité. Le rayon lumineux constitue une aiguille sans poids, n'introduisant aucun frottement et que l'on peut rendre aussi longue qu'on le veut.

La sensibilité devient très grande et l'enregistrement excellent, mais cette méthode n'est pas industrielle à cause du traitement spécial que nécessite le papier photographique.

TROISIÈME PARTIE

Appareillage électrique

CHAPITRE I

Généralités.

On désigne sous le nom d'appareillage électrique l'ensemble des appareils employés pour interrompre, diriger ou régler le courant électrique dans les circuits où il doit être utilisé.

Nous donnerons des renseignements pratiques sur les divers appareils, en signalant les inconvénients qui peuvent se présenter dans leur emploi et les moyens d'y remédier.

1^o BORNES. — Tous les appareils électriques comportent des *bornes*; la plus ancienne est la borne à trou. La connexion se fait en introduisant le câble dans un trou de diamètre donné, pratiqué sur le côté de la pièce en cuivre constituant la borne.

Dans l'axe de ce trou se trouve une vis de diamètre approprié; en serrant cette vis on vient faire pression sur le câble (fig. 66)

Si le câble n'a pas un diamètre suffisant pour remplir le trou, on devra mettre de petits morceaux

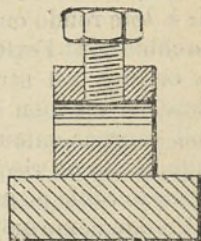


Fig. 66. — Borne à trou.

de cuivre qui rendront le serrage plus efficace.

En général, les vis de serrage employées sont des vis à tête à six pans ou des vis rondes portant deux encoches, de façon à ce que le serrage puisse se faire au besoin avec un tournevis ou une clef. La borne à trou et vis de serrage ne s'emploie généralement pas pour les grandes intensités, car lorsque les câbles

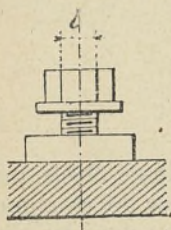


Fig. 67. — Borne à vis pour serrage à plat.

atteignent une certaine grosseur, le contact devient douteux.

On utilise de plus en plus aujourd'hui des bornes à serrage à plat qui permettent de terminer les câbles par des œillets appelés *cosses* avec lesquelles on a un excellent contact.

Sur la portion de la borne ou de l'appareil où doit se faire la connexion, on réserve une partie plate au centre de laquelle se trouve une vis à tête ronde ou à six pans munie d'une rondelle. Le câble dont l'extrémité dénudée est pliée en forme de crochet est serré entre la rondelle et la partie plate. Il est bon de faire remarquer que le câble doit tourner autour de la vis dans le sens du visage, sinon on risque de voir s'ouvrir le crochet que forme le câble au moment du serrage (fig. 67).

Un deuxième moyen, le meilleur, consiste à séparer les brins du câble, et à en former un œillet que l'on passe dans la vis de la borne.

On peut enfin tremper dans un bain de soudure l'œillet ainsi formé, ce qui réunit plus solidement les différents brins entre eux, mais alors le mieux est d'employer une cosse qui n'est autre qu'un œillet ou anneau en cuivre sur lequel on soude le câble.

2^e COSSÉS. — Les cosses se font généralement en

cuivre découpé ou fondu; elles se composent le plus souvent d'une plaquette roulée à une de ses extrémités, de façon à pouvoir embrasser le câble (fig. 68).

La cosse est étamée en la trempant dans un bain d'étain fondu après l'avoir soigneusement décapée et avoir jeté un peu de résine à la surface du bain.

Pour souder le câble dans la cosse, on recommande de ne pas employer d'acide qui provoquerait à la longue par son attaque la rupture des fils. On décaperait soigneusement chacun des fils constituant le câble, on les resserrera avec une pince à gaz en tordant ces fils de façon à constituer un câble entrant juste dans la gorge de la cosse. Le câble est alors enduit de résine et trempé dans le bain d'étain; quand on voit que l'étain adhère bien, on introduit le câble dans la cosse et on chauffe le tout dans la flamme d'une

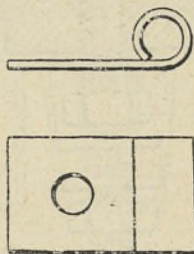


Fig. 68.—Casse simple.

lampe à souder en ajoutant de la soudure, jusqu'à ce que tous les fils soient pris entre eux et avec la cosse. On laisse refroidir et l'on fait disparaître à la lime les bavures ou la soudure en excès; on polit ensuite la cosse et on enroule un ruban isolant sur le câble jusqu'à son raccordement avec la cosse

Les contacts dans les interrupteurs. — La question des contacts joue un rôle primordial dans l'appareillage électrique, car un appareil n'a de valeur que par la qualité des contacts qu'il procure.

On devra ne pas perdre de vue que toute solution de continuité mécanique dans un circuit électrique introduit une résistance qui diminue avec le nombre

de points de contact et avec la pression qui s'exerce entre ceux-ci.

Le problème posé au constructeur d'appareillage électrique consiste donc à augmenter le plus possible ces points de contact et à obtenir une pression très forte compatible avec des efforts normaux.

Contacts plats. — Le plus ancien dispositif, celui des premiers interrupteurs, consistait à mettre en présence l'une de l'autre deux surfaces rigides aussi planes que possible (fig. 69) mais ce procédé ne vaut rien surtout pour les fortes intensités. Il est en effet matériellement impossible d'avoir des surfaces planes d'une étendue suffisante ayant un grand nombre de points communs. En plus de cette difficulté, la moindre poussière, le plus petit corps étranger qui s'introduit entre les surfaces rend le contact défectueux.

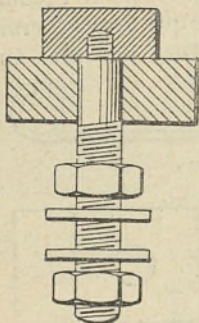


Fig. 69. — Plot de contact pour interrupteur.

Contacts à lames souples. — Les contacts à lames souples recourbées sont un perfectionnement des précédents.

La surface par laquelle doit passer le courant est partagée en plusieurs sections que l'on rend en général indépendantes les unes des autres, de façon à ce que si l'une d'elles par hasard est défectueuse, le courant puisse encore largement passer par les autres. De plus, la souplesse de ces lames permet d'avoir un contact meilleur avec un effort moins grand, l'ajustage en est aussi plus facile.

Les fig. 70 et 71 représentent plusieurs systèmes de contact de ce genre; dans la fig. 70, les paillettes

(lames de contact) sont simples, l'appareil donne de bons contacts si le couteau qui vient s'intercaler entre elles a été bien ajusté, mais s'il est trop grand, le contact se présente sous la forme de la figure, il devient mauvais, et l'appareil est mis rapidement hors de service par la déformation des paillettes.

Les contacts de la fig. 71 sont meilleurs et si le couteau est trop large, on voit que l'appareil peut encore donner de bons contacts, ce dispositif est à recommander.

Contacts à balais. — Le contact à balais, s'il

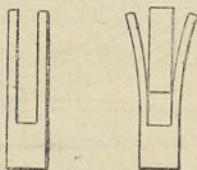


Fig. 70. — Contacts à simples paillettes.



Fig. 71. — Contacts à paillettes à ressort.

n'est pas le plus économique est certainement le meilleur. Il se compose essentiellement de plusieurs lames dont les extrémités recourbées en équerre viennent appuyer par leur épaisseur sur la partie mobile. Ces balais dits « feuilletés » permettent avec une section moindre que les précédents d'obtenir un contact meilleur, leur construction pour être bonne demande un grand soin et un outillage spécial.

Choix du métal. — En général, les pièces diverses de l'appareillage entre lesquelles peuvent se produire des ruptures de courant se font en *laiton*. Deux raisons font préférer ce métal : la première est que la section du balai est donnée non par la conducti-

bilité nécessaire, mais par la section du contact. Or la section du contact est toujours beaucoup plus grande que celle utile pour la conductibilité.

La seconde raison, plus importante encore, réside dans le fait que le balai en laiton supporte bien mieux que le balai en cuivre rouge les effets de l'étincelle, qui se produit inévitablement à la rupture d'un circuit électrique.

Une longue expérience a montré aux constructeurs

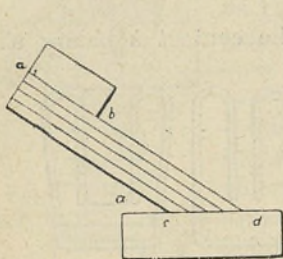


Fig. 72. — Contacts à balais.

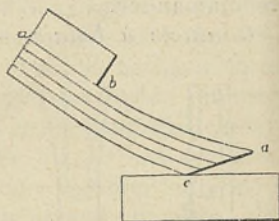


Fig. 73. — Mauvaise position du balai due à une exagération de pression

qu'il ne pouvait y avoir d'hésitation sur ce point, car la question de prix de revient est secondaire en la circonstance.

En ce qui concerne la forme à donner aux balais, ce n'est pas non plus au hasard que l'on doit se fixer. On trouve sur les appareils des principaux constructeurs deux genres de balais, le premier est constitué par un faisceau de lames plates taillées en biseau, fig. 72. On ajuste à la lime l'ensemble des lames à l'angle voulu qui est établi une fois pour toutes, mais on voit tout de suite le défaut du système : la partie, *ab* étant fixe, lorsque le balai arrive sur un contact trop élevé, il prend la position de la fig. 73 et la partie *cd* ne se présente plus de la même façon. Le balai ne porte plus que sur l'arête *c*.

On peut, il est vrai, remédier à cet inconvénient en ne donnant qu'une faible pression au balai, mais alors le contact s'en ressent, des étincelles peuvent se produire entre les lames et le plot de contact en détériorant l'appareil. Ce montage a l'avantage d'être économique et plus facile à organiser que le deuxième procédé qui est le suivant :

Les balais sont pliés en équerre de façon à rester ajustés aussi bien au repos qu'au contact. Le seul

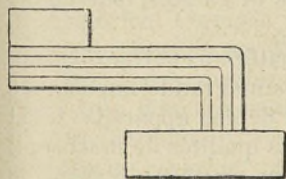


Fig. 74. — Contacts avec balais en équerre.

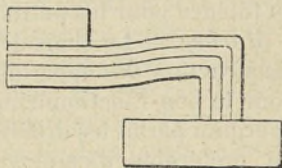


Fig. 75. — Effet de l'exagération de pression

aspect des fig. 74 et 75 montre ce qui se passe lorsqu'on soumet le balai à différentes pressions, il est facile de voir que la surface de contact reste la même, ce qui n'est pas le cas du balai précédent.

Contacts à mercure. — On rencontre un certain nombre d'appareils, principalement les disjoncteurs ou conjoncteurs automatiques utilisant des contacts à mercure.

Le contact à mercure permet de réaliser des interrupteurs laissant passer des courants assez intenses avec un effort mécanique très faible pour les manœuvrer. L'emploi du mercure demande cependant certaines précautions ; c'est ainsi, qu'en général, on ne met pas dans les godets des masses de mercure suffisantes.

Il faut compter comme section de passage du cou-

rant au plus 0,25 ampère par millimètre carré et avoir soin de n'employer que des pièces de fer ou à la rigueur de cuivre *rouge* en contact avec le mercure.

Le laiton et les autres métaux s'allient facilement au mercure, en formant des amalgames très cassants qui ne permettent pas de les utiliser.

Socles des appareils. — Les socles sur lesquels sont montés les appareils se font en marbre, ardoise, fonte pour les gros appareils et en bois, porcelaine ou faïence pour les petits.

Marbre. — Le choix des matériaux entrant dans la construction des appareils a une grande importance pour le bon fonctionnement de ces appareils. C'est pourquoi parmi les différentes qualités de marbre, il est préférable d'employer les marbres blancs de Carrare, légèrement parsemés de veines grises. Les marbres de Carrare sont beaucoup plus chers, mais supérieurs aux marbres de Belgique et d'Algérie qui sont plus hygrométriques et plus cassants, ces derniers notamment se rompent souvent par la seule variation de température.

Ardoises. — L'ardoise quand on l'emploie, demande à être choisie avec le plus grand soin; elle a sur le marbre l'avantage d'être plus solide, mais elle a l'inconvénient d'être plus hygrométrique. Le grand défaut de l'ardoise est son manque d'homogénéité; bien souvent il arrive qu'elle est traversée par des *filons métalliques* qui réunissent sans qu'on s'en doute les pièces de l'appareil que supporte l'ardoise. On a constaté fréquemment le passage du courant à travers des interrupteurs que l'on croyait ouverts lorsque ceux-ci étaient montés sur un socle en ardoise. Il y a donc grand danger à employer cette matière; le mieux est de se servir de

marbre blanc sur lequel toute impureté est facile à déceler.

Fonte. — Les gros appareils sont le plus souvent montés sur fonte; il faut alors isoler avec un soin tout particulier les pièces conductrices du courant; on emploie pour cela l'ébonite ou la fibre paraffinée. La fibre vulcanisée seule, matière rouge très répandue aujourd'hui, est un excellent isolant à condition d'être maintenue à l'abri de l'humidité, car elle se gonfle au contact de l'eau et devient conductrice. Trempée dans la paraffine très chaude, la fibre retient la paraffine dans ses pores et devient presque imperméable; on peut alors l'employer sans trop d'inconvénient, mais en général, la mica-nite et l'ébonite, ou caoutchouc durci sont préférables.

Bois, porcelaine, faïence. — Les petits interrupteurs, prises de courant, coupe-circuits, etc., se font en porcelaine ou en faïence; le bois ordinaire est à rejeter à cause de son inflammabilité. Une grande maison de construction (appareillage électrique Grivolos) établit cependant des appareils sur ébénite (bois durci au feu) qui paraît très bien résister aux étincelles et dont l'aspect extérieur est très agréable.

La porcelaine et la faïence constituent d'excellents socles, à l'épreuve du feu; ils demandent certains soins pour leur fabrication. C'est ainsi que les pièces doivent être moulées beaucoup plus grandes qu'il n'est nécessaire à cause du très grand retrait que subit la matière pendant sa cuisson.

Interrupteurs. — De toutes les pièces de l'appareillage électrique, le plus répandu et le plus utile est certainement l'interrupteur. Ainsi que leur nom l'indique, les interrupteurs sont des appareils destinés à rompre un circuit. Ce dernier étant le plus souvent traversé par un courant, il peut se produire

à la rupture une étincelle plus ou moins forte ou *arc électrique* qui ronge les pièces entre lesquelles il jaillit.

On voit donc que si l'on veut conserver à l'appareil un bon fonctionnement, certaines précautions seront à prendre, il faudra notamment installer des *pare-étincelles* chargés de localiser l'effet destructif des arcs de rupture.

Avant de choisir un modèle d'interrupteur, il est bon de se renseigner sur les conditions dans lesquelles l'appareil devra fonctionner. C'est ainsi qu'un interrupteur donné pourra très bien servir à rompre un circuit utilisant une tension de 200 volts, si la rupture ne se fait qu'au moment où le courant est *nul* et servir à 100 volts à peine, si la rupture se fait lorsque l'interrupteur est traversé par le courant total.

Toutefois, la facilité avec laquelle un arc se maintient ne dépend pas exclusivement de la tension; elle dépend également de la self-induction du circuit. C'est ainsi qu'un interrupteur de 10 ampères qui alimentera des lampes à incandescence pourra ne présenter qu'un intervalle de 20 millimètres à la rupture tandis qu'un interrupteur de 10 ampères qui alimentera le circuit d'excitation d'une dynamo sous la même tension que précédemment devra présenter à la rupture un intervalle de 70 à 80 millimètres, et même plus.

Il est donc de la plus haute importance avant de faire choix d'un interrupteur d'étudier le circuit qu'il devra commander.

On rencontre deux catégories d'interrupteurs; ceux dits « *à rupture à main* » dans lesquels la rapidité du mouvement de rupture dépend exclusivement du mouvement de la main et ceux dits « *à rupture*

brusque » dans lesquels la rapidité de la rupture est indépendante du mouvement de la main.

Les appareils de rupture à main ne doivent jamais être employés pour rompre en charge, car le mouvement produit par la main est forcément lent et l'arc

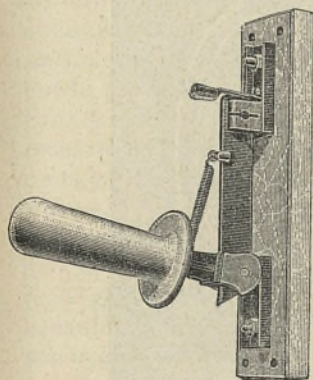


Fig. 76. — Interrupteur unipolaire avec pare-étincelles.

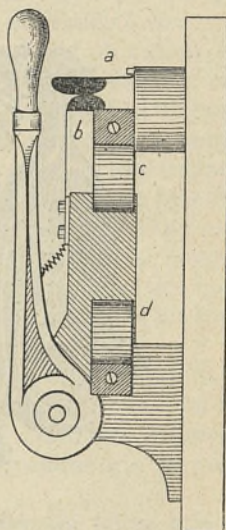


Fig. 77. — Interrupteur à rupture brusque avec pare-étincelles.

produit a plus facilement le temps de détériorer les pièces de contact.

Les appareils à « rupture brusque » se composent de deux parties; l'une d'elles, formant levier (fig. 76 et 77) est entraînée par la main, l'autre, le couteau est maintenu par les pièces de contact.

Le couteau est relié au levier par un ressort énergique, en sorte que lorsque sous l'action de la main

tirant sur le levier ce ressort est suffisamment tendu, le couteau est rappelé avec une énergie très grande qui produit la rupture rapide nécessaire.

Il est toujours préférable de placer les interrupteurs de telle façon que l'arc se produise à la partie supé-

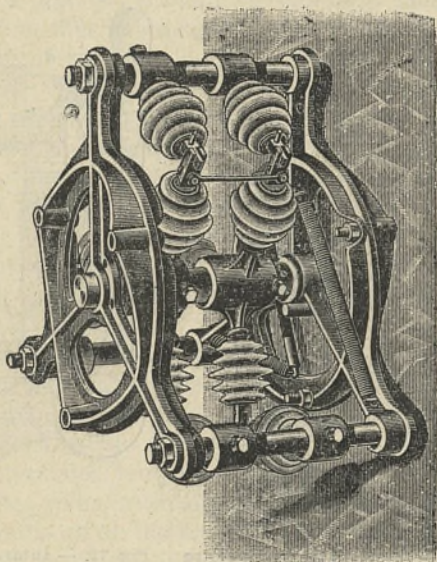


Fig .78.—Interrupteur tripolaire pour tensions élevées.

rieure, celui-ci se coupe ainsi plus facilement. En tous cas, à partir de 20 ou 30 ampères, les interrupteurs sont pourvus de pare-étincelles qui empêchent la détérioration des pièces principales. (fig. 77 et 79).

Les interrupteurs destinés à rompre des courants de haute tension (1.000 volts et au-dessus) sont analogues aux précédents comme construction, sauf que les pièces sont plus soigneusement isolées. (fig. 78).

L'arc ou étincelle de rupture étant d'autant plus considérable que la tension augmente, on serait conduit pour de très hautes tensions à prévoir des distances de rupture énormes, et pour éviter d'avoir à donner des dimensions trop grandes aux appareils, on préfère faire la rupture dans l'huile qui s'interpose entre les pièces de contact et étouffe l'arc.

En général, il faut éviter de couper un circuit en charge, surtout si la puissance qu'il absorbe est importante; cependant il est des cas où l'on ne peut faire autrement, en cas d'accident par exemple, ce qui oblige à prévoir des interrupteurs ayant à fonctionner sous charge. On ne devra pas perdre de vue en effet que la rupture des interrupteurs alimentant des circuits à haute tension est quelquefois aussi dangereuse qu'un court-circuit, car elle fait naître des courants oscillatoires qui détruisent les isolants les plus solides.

Il faut prendre pour les interrupteurs à haute tension de très grandes précautions d'isolement; on ne peut guère considérer comme matières vraiment isolantes que l'ébonite et la porcelaine qui ne sont pas hygrométriques.

Les substances isolantes courantes telles que le bois, le marbre, l'ardoise ne peuvent être utilisés dans les appareils à haute tension que comme supports purement mécaniques. Quels que soient d'ailleurs les isolants employés, il y a lieu de se préoccuper de la conductibilité par la surface. En effet, suivant l'état de l'atmosphère, il se dépose à la surface des isolants une buée presque invisible, suffisante pour amener des pertes de courant. Pour obvier à cet inconvénient éventuel, on est conduit à augmenter le chemin de fuite, en développant la surface des pièces isolantes (fig. 78); de là, la forme

particulière donnée aux isolateurs (cannelures, cloches, etc.).

Pare-étincelles. — Dans les interrupteurs, les pare-étincelles jouent un rôle capital; nous avons vu que leur but est de localiser l'arc ou étincelle entre deux pièces facilement remplaçables, de façon à protéger les contacts principaux et à les empêcher de se détériorer.

Parmi les métaux pouvant entrer dans la consti-

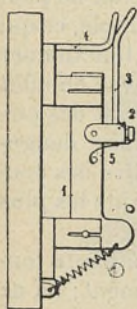


Fig. 79. — Interrupteur au repos.

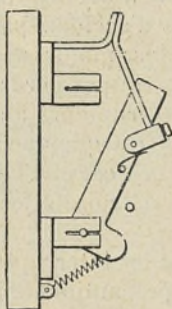


Fig. 80. — Couteau dégagé.

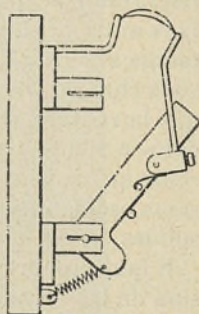


Fig. 81. — Rupture par le pare-étincelles.

tution des pare-étincelles, le zinc est un de ceux qui paraît être le meilleur.

Le zinc a en effet la curieuse propriété de s'opposer au maintien de l'arc; de plus, sa détérioration est minime et la matière disparaît par volatilisation au lieu de se résoudre en gouttelettes, comme dans le cas du cuivre rouge.

Le charbon est également employé, mais il permet plus facilement aux arcs de persister que le zinc; c'est ainsi que si un arc se maintient à 20 millimètres entre deux pièces de charbon, il se rompra à 5 ou 6 millimètres entre deux pièces en zinc.

La forme des pare-étincelles est très variable, mais elle peut se ramener au dispositif suivant qui est dû à MM. Vedovelli et Priestley. 1 est le couteau d'un interrupteur quelconque, 2 est une pièce métallique qui pivote en un point de ce couteau et porte une ou plusieurs cornes, 3 venant appuyer également sur une ou plusieurs cornes 4 de la partie fixe.

En 5, est un ressort qui appuie sur le support 2.

Lorsqu'on commence à ouvrir l'interrupteur, les cornes prennent la position de la fig. 80, le courant cesse de passer entre les contacts ordinaires, mais il continue à circuler entre les cornes. En continuant son mouvement, le couteau sépare les cornes entre lesquelles l'arc jaillit et se rompt par suite du mouvement brusque produit à ce moment par l'action du ressort du couteau (fig. 81).

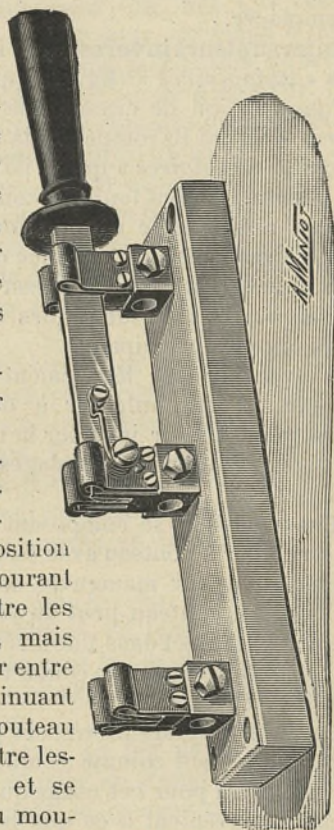


Fig. 82. — Inverseur unipolaire de la Société de l'Appareillage Grivolat.

Dans d'autres interrupteurs, le pare-étincelles est constitué par des blocs de charbon analogues comme composition à des balais de dynamos et aussi faciles à remplacer.

Interrupteurs inverseurs.— Les interrupteurs sont dits « *unipolaires* » (fig. 76), quand ils ne rompent qu'une portion de circuit à la fois; ils sont « *bipolaires* » quand ils rompent à la fois deux portions de circuit, « *tripolaires* » quand ils en rompent trois, etc. En général, ils sont toujours constitués par la réunion sur un même socle de deux ou trois interrupteurs unipolaires sous la dépendance d'une même manette, leur description détaillée ne servirait à rien, puisque ces appareils sont identiques aux unipolaires dans leurs organes principaux.

L'inverseur est légèrement différent; c'est en somme un commutateur à deux directions, très employé soit pour inverser la marche d'un moteur, soit pour réaliser des couplages de batteries d'accumulateurs.

Les inverseurs se composent le plus souvent d'un interrupteur à couteau avec ou sans rupture brusque suivant que leur manœuvre doit se faire en charge ou non. Le couteau peut en se rabattant d'un côté donner le contact dans une direction et en s'inclinant de l'autre provoquer un contact dans une autre direction (fig. 82 et 83).

Les interrupteurs inverseurs peuvent servir :

1° Simplement comme commutateurs, mais on ne les emploiera pour cet usage qu'autant qu'il n'y aura aucun inconvénient à ce que le circuit soit momentanément interrompu et en tous cas, si le circuit dans lequel doit se faire la rupture est en charge, on devra choisir des inverseurs à rupture brusque.

2° Les inverseurs peuvent être employés lorsqu'ils

sont bipolaires comme inverseurs de sens de courant; on réalisera dans ce cas le montage ci-dessous. Le courant à inverser arrivant par les fils AB aboutit aux couteaux de l'inverseur (fig. 83). Les contacts sont reliés en croix deux à deux, de façon à ce que lorsque l'inverseur est dans la position figurée, le courant de A se rend au fil C et de B au fil D. Si on rabat les couteaux sur les contacts du bas, on voit que le courant venant du fil A ira dans le fil D et de même que B communiquera avec C. Cette manœuvre équivaut en somme à un croisement de fils; elle a l'avantage de pouvoir être faite très rapidement au moyen de l'inverseur.

3° Les inverseurs bipolaires peuvent encore être employés pour coupler en quantité ou en tension deux demi-batteries d'accumulateurs. C'est ainsi qu'on utilise ce montage pour la charge en mettant les deux demi-batteries en quantité que l'on relie ensuite en tension pour la décharge.

Dans la position figurée (fig. 84-1), l'inverseur couple les deux batteries en tension, tandis qu'en rabattant la poignée dans le bas (fig. 84-2), les deux demi-batteries sont réunies à la canalisation par leurs pôles de même nom.

4° On peut employer un jeu de deux inverseurs unipolaires pour allumer ou éteindre des lampes de deux points différents, mais dans ce cas, on devra avoir soin de ne jamais laisser les couteaux dans des positions intermédiaires; chaque couteau doit toujours être sur un contact.

Lorsque les couteaux sont tous deux sur le contact

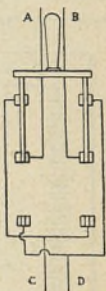


Fig. 83.
Inverseur
bipolaire

du haut, les lampes sont allumées. Si on rabat un des couteaux seulement, il y a extinction, puis en rabattant l'autre, l'allumage se produit. Ce dispositif est employé pour l'éclairage de couloirs ou d'escaliers. En arrivant en O par exemple, on tourne l'interrupteur pour provoquer l'allumage, puis en O', on éteint et réciproquement (fig. 85).

5 Les inverseurs sont encore utilisés pour faire

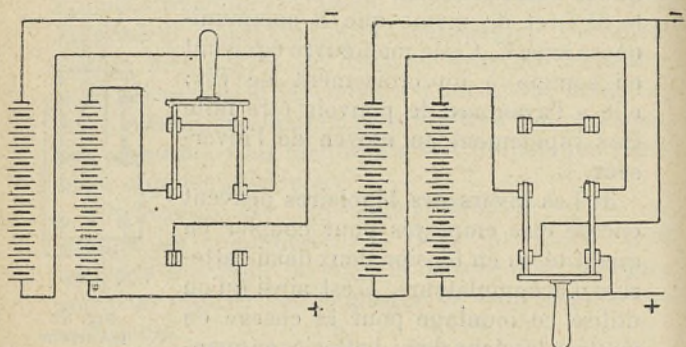


Fig. 84-1. — Montage en tension.

Fig. 84-2. — Montage en quantité.

démarrer certains moteurs à courant alternatif, une des positions introduit dans des circuits supplémentaires dits de démarrage qui sont supprimés en rabattant l'inverseur, lorsque la vitesse normale est atteinte.

Interrupteurs automatiques. — Il est quelquefois nécessaire de rendre automatique le fonctionnement des interrupteurs soit pour rompre un circuit si l'intensité qui le traverse devient dangereuse, soit au contraire si elle devient trop faible, soit enfin lorsqu'une dynamo s'arrête ou se met en marche. Dans ces conditions, la manœuvre à la main est remplacée

par une commande électrique dans laquelle intervient le plus souvent un électro-aimant. On réalise ainsi des combinaisons extrêmement ingénieuses de plus en plus appréciées.

Ces appareils appelés *disjoncteurs*, quand ils servent à rompre un circuit, *contacteurs* ou *conjoncteurs*, s'ils l'établissent, se réduisent comme principe à un interrupteur ordinaire sollicité à s'ouvrir par une

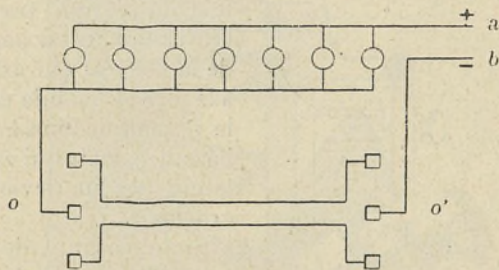


Fig. 85. — Application de deux inverseurs unipolaires à l'allumage et à l'extinction de lampes de deux endroits différents.

action quelconque : ressort, contrepoids, etc., qui est retenu dans la position de contact par un électro-aimant agissant sur une armature ou par encliquetage mécanique.

Certains de ces appareils notamment pour hautes tensions peuvent être commandés à distance par l'action d'un moteur utilisant des courants à basse tension ou même par l'air comprimé, comme dans certaines locomotives électriques.

Disjoncteurs. — Les disjoncteurs que l'on rencontre le plus souvent sont à *maxima* ou à *minima*.

Les disjoncteurs à maxima rompent le circuit quand le courant atteint une intensité supérieure à l'intensité normale pour laquelle l'appareil est réglé.

La plupart des constructeurs ont réalisé des disjoncteurs à maxima au moyen d'un électro-aimant qui attire une armature lorsque l'intensité est suffisante, cette attraction provoquant le déclenchement de l'interrupteur.

Les principaux appareils les plus récents basés sur ce principe comportent une simple bobine

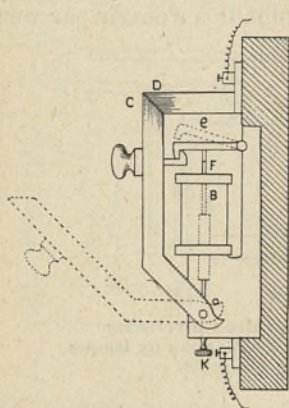


Fig. 86 — Schéma d'un disjoncteur à maxima.

B (fig. 86) parcourue par le courant qui traverse l'interrupteur en passant de la pièce D qui est fixe à la pièce C mobile et que la pesanteur tend à faire basculer, mais qui est retenue par un levier en crochet *l*.

Si le courant devient trop intense, la bobine B attire un noyau de fer placé en son centre qui se trouve brusquement soulevé et lancé contre le levier *e* à la façon d'un percuteur.

Le levier *e* dégage la pièce mobile qui bascule en rompant le circuit. Pour rétablir le courant, il faut ramener à la main la pièce mobile et l'accrocher.

On règle l'intensité correspondant au déclenchement, en agissant sur la vis K qui soulève plus ou moins le noyau et en facilite l'attraction.

Ces appareils sont employés à la place des coupe-circuits chaque fois qu'on le peut, particulièrement pour les intensités élevées. La fig. 87 représente un appareil de ce genre construit par les établissements Grivolos pour 100 ou 200 ampères.

Il arrive en effet qu'avec des courants dépassant

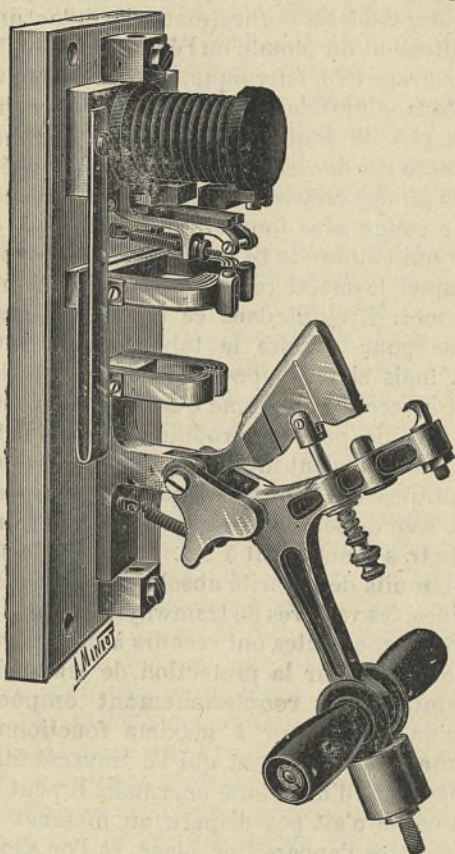


Fig. 87. — Disjoncteur automatique maxima de l'Appareillage électrique Grivolas.

50 ampères, les fils fusibles des coupe-circuits ne fondent plus qu'irrégulièrement : tantôt avec une

intensité inférieure à 50 ampères, si le coupe-circuit est mal serré sous les bornes (mauvais contact amenant l'échauffement du plomb, ou l'écrasement de la lame par un serrage trop énergique, etc.) et tantôt avec une intensité trop grande, il peut même arriver qu'ils ne fondent pas du tout. Nous avons en effet constaté que dans le cas de vieux fils fusibles très oxydés, dans lesquels on fait croître le courant très lentement, le fil reste rouge sans fondre. Ce fait tient à ce que l'oxyde qui entoure le fil forme une gaine ou un tube dans lequel le métal reste fondu à l'état liquide par conséquent. Il suffit dans ce cas d'une très petite secousse pour rompre le tube et faire sauter le plomb, mais si le coupe-circuit est placé dans un endroit inaccessible comme c'est trop souvent le cas, le phénomène peut se produire et la protection de cet appareil devient illusoire. Avec les disjoncteurs automatiques qui sont basés sur des principes mécaniques, rien de semblable ne se produit et la rupture se règle très exactement à 2 p. 100 près. Ce sont des coupe-circuits de sécurité absolue. Toutes les grandes usines, les voitures de tramways, et toutes les installations importantes ont recours à des disjoncteurs automatiques pour la protection de leurs circuits.

Disjoncteurs à renclenchement empêché. — Lorsqu'un disjoncteur à maxima fonctionne, c'est que l'intensité du courant qui l'a traversé était trop forte par suite d'une cause anormale. Il peut se faire que la cause n'ait pas disparu au moment où l'on veut remettre l'appareil en place, et l'on s'expose si on renclenche à la main le disjoncteur, soit à détériorer les pièces de l'appareil, soit à se brûler soi-même, soit à amener une perturbation dans le circuit, brûler des fils ou un moteur par exemple.

Il y a donc grand intérêt à ce qu'il soit matériel-

lement impossible de renclencher un disjoncteur, si la cause qui a produit la rupture existe toujours.

Beaucoup d'appareils ont été combinés dans ce but, il nous est impossible de les décrire tous; nous nous contenterons d'indiquer le principe de ceux de MM. Vedovelli et Priestley qui résolvent très bien le problème.

L'appareil se compose essentiellement des organes suivants :

Un levier de manœuvre dont la première position avant d'agir sur le disjoncteur lui-même correspond à la *rupture* d'un interrupteur auxiliaire.

Pour produire l'enclenchement du disjoncteur, il faut donc ouvrir au préalable cet interrupteur auxiliaire. Par conséquent, le renclenchement du disjoncteur se produit, lorsque le circuit est ouvert d'un côté. Ce renclenchement se fait par suite sans inconvénient, sans étincelle ni détérioration possible, même si la cause qui a produit le déclenchement a subsisté, si le court circuit est franc, par exemple.

Ceci fait, lorsqu'on abandonne le levier de manœuvre pour le ramener à sa position primitive, l'interrupteur auxiliaire se ferme brusquement. La disposition mécanique est telle qu'au moment où cet interrupteur auxiliaire se ferme, la main ne peut empêcher le déclenchement du disjoncteur. Par conséquent, si la cause qui a produit le déclenchement a subsisté, le disjoncteur déclenchera à nouveau.

Ces appareils trouvent leur application dans de nombreux cas; ils constituent de véritables coupe-circuits automatiques de sûreté.

On peut imaginer bien d'autres dispositions; c'est ainsi qu'en branchant un électro-aimant à fil fin entre les deux points où le circuit se rompt dans un disjoncteur automatique, on peut à l'aide de l'arma-

ture de cet électro produire le verrouillage de la manette de renclenchement. Il en résulte que tant que le circuit n'aura pas été ouvert en dehors du disjoncteur, on ne pourra remettre l'appareil en place parce que l'électro-aimant restera excité.

Pour les courants de faible intensité (ne dépassant pas 20 ampères), l'auteur a imaginé un disjoncteur extrêmement simple, fonctionnant plus rapidement qu'un coupe-circuit ordinaire.

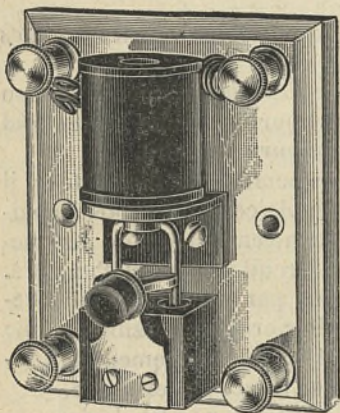


Fig. 88. — Disjoncteur pour faibles intensités.

Il se compose (fig. 88) d'une bobine ou solénoïde parcouru par le courant de l'installation à protéger, le circuit est complété par deux godets à mercure que réunit un cavalier.

Un noyau de fer pénétrant dans l'axe de la bobine termine le cavalier. Si le courant devient trop intense, le noyau de fer est aspiré à l'intérieur de la bobine, il entraîne à sa suite le cavalier, lequel sortant des godets à mercure, coupe le courant. L'attraction cesse aussitôt, mais la disposition est telle qu'à ce moment le cavalier ne peut se replacer de lui-même dans les trous.

Le courant reste donc interrompu jusqu'à ce qu'on soit venu remettre le cavalier en place par une pression sur un bouton. Le fonctionnement de cet appa-

reil est si rapide, que mis en circuit avec un coupe-circuit ordinaire, même en cas de court-circuit, il coupe le courant avant que le plomb ait eu le temps de fondre, sa remise en place est de plus très aisée et plus commode que le remplacement d'un fil fusible.

Disjoncteurs à minima. — Pendant la charge des accumulateurs, il est très important de rompre le circuit, si le courant de charge diminue ou s'annule

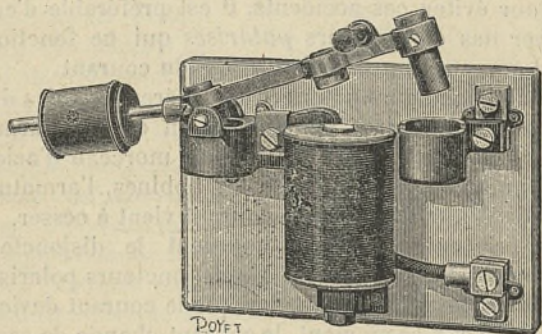


Fig. 89. — Disjoncteur à minima.

par suite de l'arrêt de la dynamo ou de l'appareil qui alimente la batterie. On confie ce soin à des disjoncteurs à *minima* qui ouvrent le circuit, dès que le courant de charge diminue et s'annule.

Ces appareils très simples (fig. 86) sont le plus souvent constitués par un électro-aimant traversé par le courant de charge dont l'armature ferme le circuit, lorsqu'elle est attirée. Un ressort ou simplement la pesanteur rappelle l'armature au repos, dès que le courant est insuffisant pour la maintenir au contact. Pour remettre l'appareil en marche, il faut ramener l'armature à la main.

Un disjoncteur de ce genre présente un grave défaut : si un court-circuit produit sur le circuit de charge ou si la dynamo au lieu de s'arrêter graduellement s'arrête brusquement, le courant se renverse dans l'électro avant que l'armature ait eu le temps de se détacher et cette dernière reste attirée d'autant plus énergiquement que le courant de décharge est plus intense.

Pour éviter ces accidents, il est préférable d'employer des disjoncteurs *polarisés* qui ne fonctionnent que pour un sens déterminé du courant.

Les disjoncteurs polarisés se différencient des disjoncteurs ordinaires, simplement en ce que l'armature mobile est constituée par un morceau d'acier; lorsque le courant traverse les bobines, l'armature en acier s'aimante et si le courant vient à cesser, la pièce restant aimantée maintient le disjoncteur enclenché. Par conséquent, les disjoncteurs polarisés ne rompent pas le circuit, lorsque le courant devient nul, mais si à ce moment, le courant change de sens, le barreau d'acier se désaimante et abandonnant l'électro, rompt ainsi le circuit.

On peut arriver au même résultat en polarisant (c'est-à-dire en aimantant) l'armature au moyen d'une bobine à fil très fin montée comme un volt-mètre en dérivation sur les bornes des accumulateurs, mais il est plus avantageux de choisir des appareils pourvus du dispositif précédent forcément moins coûteux et ne dépensant rien pour conserver leur aimantation.

Disjoncteurs d'excitation de dynamos. — Lorsque plusieurs dynamos travaillent en parallèle, dans une station centrale par exemple, il y a avantage à ce que si, par hasard, un circuit d'excitation vient à être rompu, le circuit principal le soit aussi.

A cet effet, on peut réaliser le dispositif ci-dessous obtenu par l'insertion d'un disjoncteur dans le circuit principal de chaque dynamo (fig. 90), la bobine maintient l'armature du disjoncteur tant qu'elle est traversée par le courant d'excitation. On voit facilement au seul aspect du schéma que si le fil fin de l'excitation d'une dynamo vient à être coupé, l'électro abandonne son armature qui met la dynamo hors circuit évitant ainsi de brûler l'induit de cette machine

Conjoncteurs-disjoncteurs. — On a imaginé bien des systèmes de conjoncteurs-disjoncteurs lesquels comme leur

nom l'indique, sont destinés à mettre en charge une batterie, dès que la dynamo donne une tension suffisante et à interrompre le circuit lorsque par suite du ralentissement de la vitesse de la machine, les accumulateurs ne se chargent plus.

Les conjoncteurs sont nécessaires si la dynamo est commandée par un moulin à vent ou tout autre moteur à allure essentiellement variable.

Ces appareils sont, en général, analogues à un disjoncteur à minima dont l'armature peut être ramenée au contact par une bobine à fil fin mise en dérivation sur les bornes de la dynamo.

Dès que la tension de la machine augmente et devient suffisante, la bobine à fil fin attire l'armature et met la batterie en charge. Si la machine ralentit, le courant diminue, ce qui a pour effet de rendre plus petite l'attraction de la bobine à gros fil

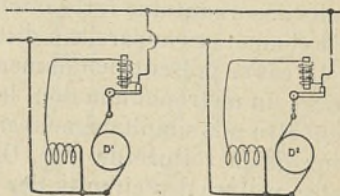


Fig. 90. — Schéma du montage de disjoncteurs à minima sur des circuits de dynamos.

aussi bien que celle de la bobine à fil fin, l'armature s'écarte, rappelée par un ressort, et la charge est interrompue. Si la vitesse augmente, la charge se rétablit et ainsi de suite.

Interrupteurs manœuvrables à distance ou contacteurs. — Lorsqu'on désire manœuvrer du même point des interrupteurs commandant des circuits absorbant une forte intensité, il est avantageux d'actionner ces appareils à distance.

Le cas se présente notamment pour les voitures motrices du métropolitain dont les électro-moteurs doivent être mis simultanément en circuit par le conducteur de la voiture de tête. On pourrait ramener à cette voiture les circuits des moteurs des diverses voitures, mais étant donné la grosseur des câbles à employer et leur nombre, on serait amené à compliquer beaucoup l'installation et à rendre l'accouplement des voitures long et difficile.

On a résolu très élégamment le problème en actionnant électriquement à distance les interrupteurs qui admettent le courant dans les moteurs.

Ces interrupteurs portent le nom de *contacteurs* ; ils sont installés dans chaque voiture motrice, un câble souple très petit les relie à la cabine de tête.

Le principe de ces appareils est très simple ; ce sont des électro-aimants qui produisent le contact, lorsqu'un courant excite leurs bobines. La fig. 91 représente un ensemble de trois contacteurs destinés à manœuvrer d'un même point trois circuits d'éclairage différents.

Comme il est facile de le voir, ces électros comportent deux bobines, une pour l'allumage, l'autre pour l'extinction. Chacune d'elles peut attirer un noyau de fer suspendu à l'extrémité d'une sorte de fléau de balance formant la pièce principale de l'in-

interrupteur. En envoyant le courant dans l'une ou l'autre des bobines, on provoque la mise en circuit ou l'extinction des lampes et cela à une grande distance, sans avoir besoin de ramener de gros câbles à ce point, ce qui serait nécessaire si on n'employait pas de contacteurs.

Coupe-circuits. — Les coupe-circuits dont sont pourvues aujourd'hui toutes les installations électriques sont destinés à rompre le courant dans un circuit, dès que l'intensité devient dangereuse.

Ces appareils d'une idéale simplicité se composent de deux blocs métalliques reliés par un fil fusible d'une section qui doit toujours être *plus faible* que celle des conducteurs du circuit qu'il protège.

Si le courant vient à dépasser une certaine intensité, cette portion de conducteur plus faible s'échauffe la première, et si la composition du fil a été convenablement choisie, ce conducteur peut fondre avant que les conducteurs principaux de l'installation ne soient détériorés ou n'aient détérioré les objets avoisinants.

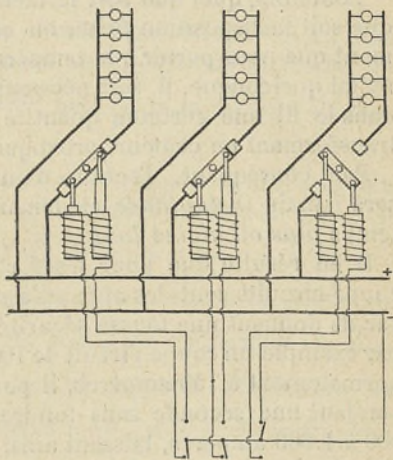


Fig. 91. — Contacteurs pour commande de circuits à distance.

Ces appareils pour bien fonctionner doivent répondre aux conditions suivantes :

Il faut que pour une intensité déterminée, l'échauffement soit relativement rapide et que lorsque la fusion se produit, l'arc ne puisse subsister entre les bornes. De plus les projections de métal fondu ne doivent pas atteindre les corps environnants.

Toutefois, quel que soit le métal employé, quelle que soit la disposition prise, on conçoit immédiatement que pour porter à la température de fusion un métal quelconque, il soit nécessaire d'emmagasiner dans le fil une certaine quantité d'énergie qui, se transformant en chaleur, provoquera la fusion.

Par conséquent, l'action d'un coupe-circuit ne sera jamais *instantanée* et demandera toujours un temps *plus ou moins long*.

Il en résulte que pour les fortes intensités, les coupe-circuits sont des appareils plutôt *dangereux*, car ils donnent une fausse sécurité. Si nous prenons par exemple un coupe-circuit de 100 ampères fondant normalement à 150 ampères, il pourra laisser passer pendant une seconde sans fondre une intensité de 800 à 1.000 ampères, laissant ainsi se produire sur la canalisation un à-coup que n'importe quel disjoncteur automatique aurait évité.

Pour les circuits de quelques lampes, le coupe-circuit est un protecteur excellent; c'est pour cela que les grandes compagnies de distribution d'énergie électrique prescrivent dans leurs instructions de ne pas installer plus de *six* lampes par coupe-circuit, c'est-à-dire qu'elles obligent à diviser l'installation en circuits ne supportant pas plus de 2 à 3 ampères chacun.

Le diamètre des fils fusibles à employer dépend beaucoup du refroidissement des attaches, à cause de

la conductibilité des blocs de cuivre sur lesquels on a l'habitude de les serrer, mais on peut se baser sur une densité de courant de près de 15 ampères par millimètre carré pour les intensités ne dépassant pas 2 à 3 ampères, et 10 ampères par millimètre carré pour des coupe-circuits fonctionnant entre 5 et 10 ampères.

C'est ainsi qu'un circuit d'une lampe 0,5 à 1 ampère sera suffisamment protégé par un fil fusible de 0,15 millimètre carré, soit $\frac{4}{10}$ de millimètre de diamètre.

Un circuit absorbant normalement 3 ampères (5 à 6 lampes) sera protégé par un fil fusible de 0,25 millimètre carré, soit $\frac{6}{10}$ de millimètre de diamètre; un circuit de 5 ampères réclamera un fil fusible de 0,5 millimètre carré, soit $\frac{8}{10}$ de millimètre de diamètre; un circuit de 10 ampères nécessitera un fusible de 1 millimètre carré, soit $\frac{12}{10}$ de millimètre de diamètre.

Les fils fusibles vulgairement appelés *plombs fusibles* se font rarement en plomb; on emploie de préférence un alliage de plomb et d'étain ou même de l'étain pur; c'est à des fils de ce genre que correspondent les chiffres que nous donnons plus haut.

Pour des intensités élevés, on conseille d'employer du fil de cuivre étamé, ou mieux des fil d'argent. Ce sont des fils de cette nature qui servent à protéger les installations à haute tension. Le fil est dans ce dernier cas enfermé dans un tube en porcelaine qui sert à le manier.

Dans bien des coupe-circuits, pour faciliter le rem-

placement du fil fusible, on préfère loger ce fil dans des tubes isolants dont on engage les extrémités dans les mâchoires métalliques du coupe-circuit.

Le remplacement est alors rendu très facile et inoffensif, car le tube se remplace comme une cartouche ;

on évite aussi de se brûler en remplaçant le fusible, car il fond dans le tube qui protège l'opérateur.

Parafoudres.

— Le but des parafoudres est d'empêcher que les installations intérieures soient détériorées par les décharges atmosphériques. Deux moyens se présentent qui peuvent être employés, si-

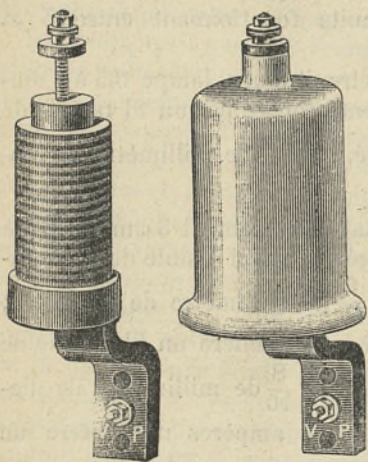


Fig. 92. — Parafoudre à condensateur.

multanément : le premier consiste à éviter l'accumulation de charges électriques en suscitant un écoulement constant; le deuxième a pour but de laisser la décharge atmosphérique se produire en canalisant sa route et lui offrant un chemin facile. La véritable protection consistera à user des deux moyens, c'est-à-dire à procurer un écoulement constant de l'électricité atmosphérique et, dans le cas où cet écoulement n'est plus suffisant, lui offrir une route plus rapide.

Sans entrer dans la description des parafoudres utilisés dans les grandes usines, nous nous bornerons

à indiquer ceux qui sont d'un emploi courant dans les installations d'abonnés, mais hâtons-nous de dire qu'on ne les emploie que si ces installations sont alimentées par des lignes aériennes de quelque étendue. Ces appareils deviennent inutiles pour protéger les installations intérieures alimentées par des canalisations souterraines ou par une usine placée à l'intérieur de l'édifice.

Parmi les appareils procurant un écoulement constant des décharges atmosphériques, signalons le parafoudre à condensateur (fig. 92) formé d'un certain nombre de disques de fer empilés avec interposition de rondelles de mica de même diamètre.

Le disque supérieur est relié à la ligne à protéger, le dernier disque du bas et reliés à la terre. Une cloche en porcelaine enveloppe le tout qui se présente extérieurement sous la forme d'un isolateur ordinaire.

Cet appareil donne de bons résultats, car les disques séparés par du mica constituent une série de petits condensateurs qui laissent écouler l'électricité atmosphérique. Si même la décharge est trop forte, il se produit des étincelles d'un disque de fer à l'autre par les bords et l'excédent de décharge jaillit comme l'étincelle d'un carreau étincelant.

Pour écouler vers le sol les fortes décharges atmosphériques, on utilise le parafoudre à cornes. Cet appareil, comme son nom l'indique, est formé de tiges de zinc repliées en forme de cornes placées à peu de distance les unes des autres. Un certain nombre d'entre elles est relié à la ligne à protéger, l'autre avec le sol par un fil ou un câble présentant aussi peu de *coudes que possible*. Si la ligne reçoit un coup de foudre, la décharge saute d'une corne à l'autre et s'écoule dans le sol, l'étincelle monte le

long des cornes sous l'effet de l'air chaud qu'elle produit et se rompt sitôt que la distance devient un peu grande, le parafoudre est alors prêt à fonctionner de nouveau (fig. 93).

Remarque. — Les décharges atmosphériques n'étant autres que des courants alternatifs à fréquence très élevée passeront facilement à travers les condensateurs, tels que les parafoudres précédemment ou les cornes du parafoudre de la fig. 93 qui

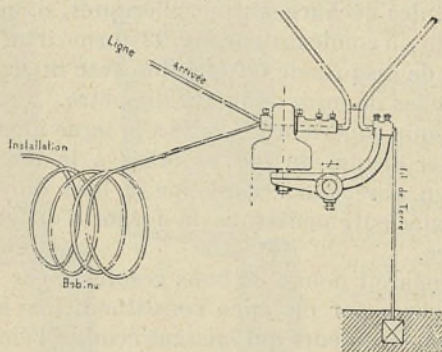


Fig. 93. — Schéma du montage d'un parafoudre à cornes.

constituent les armatures d'un petit condensateur. Ces courants seront arrêtés ou retardés par le moindre coude, par suite de la self-induction que présentent de tels circuits.

On utilise cette curieuse propriété pour éviter que les courants atmosphériques ne pénètrent dans l'installation et dans cet ordre d'idées on devra monter le parafoudre à cornes sur l'arrivée de la ligne aérienne desservant l'installation, en lui faisant faire un premier coude à angle vif dont le sommet est sur une des cornes du parafoudre. Quelques spires de fil

placées ensuite avant l'installation complètent la protection. Le fil de terre, au contraire, est *aussi droit* que possible et aboutit à une plaque métallique en tôle galvanisée ou en cuivre rouge d'environ un mètre carré enfouie verticalement dans le sol humide.

Si le sol n'était pas humide on entourerait la plaque de terre d'un lit de coke.

Une bonne disposition consistera à mettre le long des canalisations, et de place en place, un certain nombre de parafoudres ou condensateurs qui serviront aux écoulements constants de l'électricité atmosphérique, et aux extrémités, près des appareils à protéger, des parafoudres à cornes et le cas échéant des bobines de self-induction (fig. 91). L'emploi de ces bobines n'est pas toujours indispensable, si les appareils à protéger présentent eux-mêmes de la self-induction.

Toutefois, comme ces bobines peuvent être réalisées d'une façon extrêmement économique, qu'elles sont très simples à installer, il vaut mieux les employer chaque fois qu'on le peut.

Dans l'installation des bobines de self-induction, il faut bien observer de les mettre en bonne place et non sur le *circuit de terre*, car au lieu d'empêcher la foudre d'arriver sur les appareils à protéger, elle l'y conduirait.

CHAPITRE II

Jonction des fils.

Épissures ou raccord des fils et câbles. — Parmi les opérations qui se présentent le plus souvent dans les installations électriques, l'*épissure* ou jonction de fils entre eux est une des plus fréquentes. De sa bonne réalisation dépend souvent le bon fonctionnement d'une installation, car rien ne sert d'employer des conducteurs en cuivre de haute conductibilité, si l'on perd tout le bénéfice de cette bonne conductibilité dans le mauvais contact d'une épissure.

Pour assurer un passage sans résistance du courant d'un fil à l'autre, il faut faire entrer en contact aussi intime que possible les conducteurs à relier, et à ce point de vue, la soudure est un précieux auxiliaire.

La façon la plus simple de faire un raccord consiste à employer des serre-fils, sortes de tubes en cuivre dans lesquels on engage les fils à relier que l'on maintient en place à l'aide de vis de pression. Mais ce procédé qui ne convient qu'aux installations provisoires a l'inconvénient de grossir le fil et de réclamer un isolement soigné si l'on veut éviter les court-circuits par le contact de deux serre-fils voisins.

De même les manchons dans lesquels on coule de la soudure après y avoir engagé les fils à raccorder ne convient guère qu'aux lignes aériennes.

Dans les installations intérieures, les épissures se

font, en tordant l'une sur l'autre les extrémités dénudées des fils à raccorder.

Epissure simple. — Soient deux fils à raccorder; on les dénudera sur une longueur de 10 à 15 centimètres en enlevant les isolants en gradins à l'aide d'un canif, puis on passera au papier de verre les fils ainsi préparés, de façon à rendre les surfaces aussi



Fig. 94. — Epissure simple.

propres et aussi brillantes que possible. On amène ensuite les deux fils au contact par le milieu de la partie dénudée en enroulant sur chacun d'eux l'extrémité restée libre du fil voisin (fig. 94). Cette torsade pourra être soudée, et l'on voit que de cette façon, il y aura contact parfait entre les deux conduc-

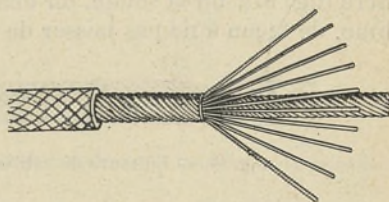


Fig. 95. — Préparation d'un câble.

teurs. On recouvrira le tout d'un ruban de toile isolante, puis de plusieurs couches de ruban caoutchouté ou de caoutchouc pur, de façon à obtenir un isolement au moins égal à celui du fil lui-même.

Câbles. — Lorsqu'il s'agit de relier deux câbles formés de plusieurs fils, on débarrasse ces câbles de leurs isolants sur une longueur de 15 ou 20 centimètres, puis on ouvre en éventail les fils (fig. 95) formant le toron supérieur et on coupe à la pince les

torons intérieurs faciles à reconnaître à leur torsade qui est en sens inverse de la première.

On présente les câbles à relier, en entrelaçant les divers fils que l'on rabat ensuite sur la portion de câble dénudée voisine (fig. 96). On torsade le tout, à l'aide

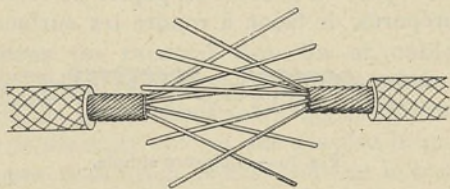


Fig. 96. — Raccordement de deux câbles.

d'une pince à gaz et quand l'épissure est bien régulière (fig. 97), on la soude, on ébarbe la soudure à la lime, de façon à ne pas laisser de pointes qui perce-



Fig. 97. — Epissure de câbles terminés.

raient les isolants. Il ne reste plus ensuite qu'à la recouvrir de rubans isolants comme précédemment.

Une épissure bien faite devra avoir une fois terminée un diamètre à peine supérieur à celui du câble ordinaire.

Epissure en T. — Dans bien des cas, on a à faire une dérivation sur un câble, pour alimenter un appareil, un moteur, par exemple; on est alors conduit à faire une épissure en T qui se pratique de la façon suivante :

On commence par dénuder le câble sur lequel on

doit faire le raccord sur une longueur de 15 à 20 centimètres, puis on l'ouvre au milieu en séparant en deux parties par une échancrure les fils qui le constituent (fig. 98).



Fig. 98. — Préparation d'une épissure en T.

Le câble à relier est dénudé également sur 15 à 20 centimètres ; on écarte les différents fils qui le constituent et on en passe la moitié par le trou pratiqué dans le premier câble (fig. 99). On rabat ensuite les fils de part et d'autre du trou, et on les torsade à l'aide d'une pince à gaz (fig. 100).

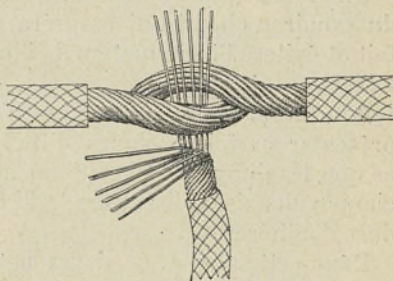


Fig. 99. — Raccordement du câble de dérivation.

L'épissure faite est soudée et isolée soigneuse-

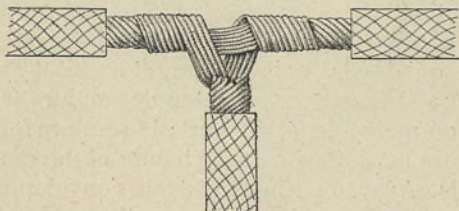


Fig. 100. — Epissure en T terminée.

ment à l'aide de rubans caoutchoutés ou en caoutchouc pur, puis recouverte de toile chattertonnée,

Boîtes de jonction. — Les très gros câbles, les câbles armés en particulier ne sont reliés qu'à l'aide de boîtes de jonctions, sortes de boîtes en fonte s'ouvrant en deux parties comme un coquillage.

Dans cette boîte, les câbles à relier pénètrent à l'aide de presse-étoupes tout comme une tige de piston dans un cylindre de machine à vapeur ; ils sont dénudés à l'intérieur et les âmes sont reliées ensemble à l'aide de serre-fils.

Une fois le contact assuré, on coule dans la boîte du goudron chaud qui assurera un isolement parfait et évitera l'introduction de l'humidité si nuisible à l'isolement.

Soudures. — Les soudures d'épissures peuvent présenter parfois quelques difficultés provenant de ce que les différents fils retiennent un peu de caoutchouc vulcanisé qui sulfure le fil et empêche la soudure d'adhérer.

Pour cette raison, on devra nettoyer avec le plus grand soin chaque fil au papier de verre, puis une fois l'épissure torsadée, on la chauffera avec un très gros fer à souder, ou mieux avec une lampe à souder dont la flamme a la curieuse propriété d'éviter l'oxydation.

On appliquera sur l'épissure par intervalles de la résine qui fondra puis brûlera, et aussitôt après, on appuiera dessus avec un bâton de soudure (riche en étain ou même en étain pur) ; la soudure fondra, si l'épissure est suffisamment chaude et devra adhérer aux fils. Avec un linge dont on s'enveloppera soigneusement la main droite, on lissera la soudure, puis on appliquera un peu de résine, une nouvelle quantité de soudure, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on voit que tous les fils sont bien imprégnés d'étain. On laissera refroidir et avec une lime, on enlè-

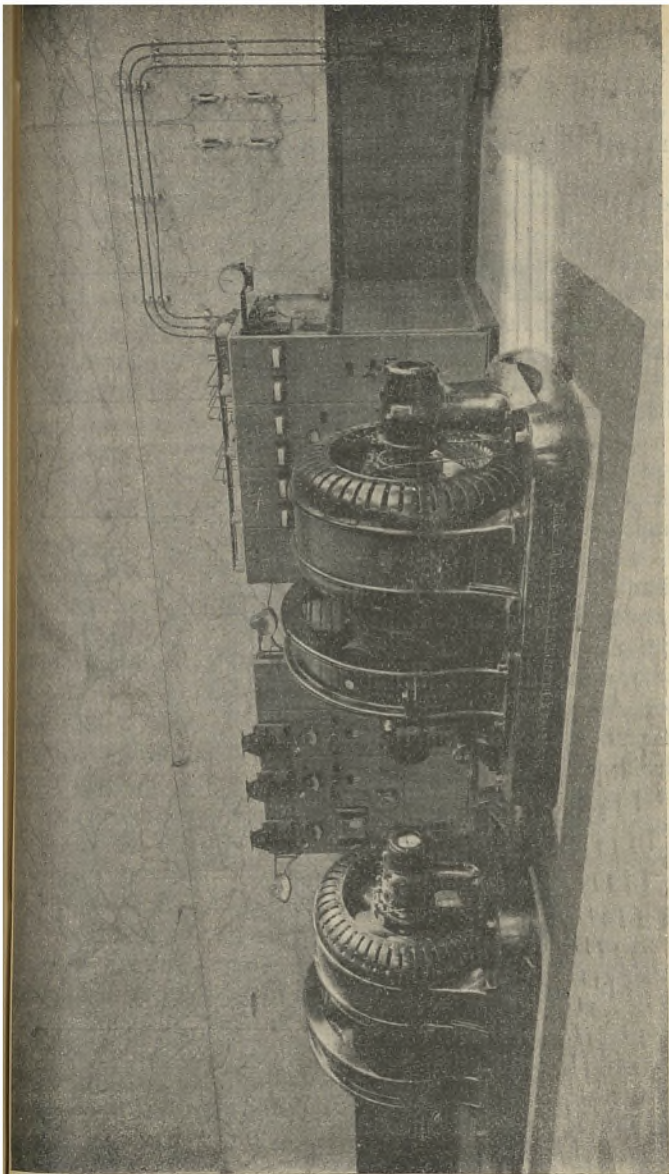


Fig. 101. — Vue intérieure d'une usine montrant l'organisation des tableaux et machines pour la transformation de courants triphasés en courant continu.

vera les bavures ou les gouttes de soudure qui pourraient, en sortant de l'isolant faire des court-circuits.

Remarque. — Il faut avoir bien soin de ne jamais employer d'esprit de sel ou de chlorure de zinc pour les épissures, car ce liquide grimpe entre les fils du câble et comme il ne s'évapore que difficilement, il finit par ronger le conducteur qui se rompt au bout de quelques mois; on ne doit employer comme décapant que de la *résine* et à la rigueur de la bougie, si l'on ne peut faire autrement, ces corps se solidifiant une fois l'épissure terminée.

La fig. 101 donne une vue d'une installation intérieure d'usine dans laquelle le lecteur retrouvera tous les points importants sur lesquels nous avons appelé son attention.

Au premier plan deux groupes composés chacun d'un moteur triphasé et d'une dynamo servent à la transformation en courant continu des courants triphasés amenés et transmis d'une usine lointaine.

L'arrivée du courant triphasé se fait par un câble souterrain qui se raccorde aux 3 fils de l'installation par une boîte de jonction visible contre le mur à droite.

Posés sur des isolateurs en porcelaine, les fils amènent le courant triphasé au tableau de distribution (panneaux de droite) d'où il se rend aux moteurs triphasés (reconnaissables à leur carcasse présentant des fentes).

Le courant continu produit par les dynamos aboutit au tableau de distribution (panneaux de gauche) traverse les appareils de mesure et de réglage ainsi que les disjoncteurs visibles en haut et de là se rend aux appareils d'utilisation par des câbles souterrains. Cette vue prise dans une usine tout à fait moderne donne une idée de l'aspect des installations actuelles.

QUATRIÈME PARTIE

Installations intérieures

CHAPITRE I

Branchements.

Il semble, à première vue, que les installations intérieures d'éclairage, très simples à concevoir et ressemblant beaucoup aux installations de sonneries qu'elles côtoient le plus souvent, puissent être traitées comme ces dernières. Il n'en est rien; une installation d'éclairage électrique doit être extrêmement soignée, et on ne doit employer dans sa pose que des matériaux de premier choix, en observant scrupuleusement les précautions que nous allons indiquer, quelque exagérées qu'elles puissent paraître. Tandis que dans une installation de sonneries, l'emploi de fils mal isolés ou simplement leur cisaillement sous un clou à crochet provoque un court-circuit dont les conséquences sont l'arrêt des sonneries et l'usure de la pile, dans une installation d'éclairage électrique, tout contact ou toute dérivation accidentelle peut amener, ce qui est plus grave un commencement d'incendie; on comprendra donc pourquoi nous insisterons particulièrement sur la façon de traiter de telles installations.

Certains commencements d'incendie provoqués par

des installations mal faites ont pu faire croire à un moment donné que l'éclairage électrique était dangereux. Il n'en est rien, c'est le plus inoffensif de tous les modes d'éclairage, lorsqu'il est installé avec toutes les règles de l'art.

On comprendra pourquoi les compagnies et sociétés d'électricité se montrent quelquefois difficiles pour la réception des installations; c'est qu'il y va de l'intérêt général des applications de l'électricité, sur lesquelles de mauvaises installations pourraient jeter un discrédit difficile à faire disparaître.

1° BRANCHEMENT. — Le branchement d'un immeuble sur une canalisation extérieure d'énergie électrique peut se faire de deux façons, suivant que la ligne d'arrivée est aérienne ou souterraine.

Si la ligne est aérienne, les fils s'introduiront dans l'immeuble par le toit ou la façade; si elle est souterraine, ils arriveront en sous-sol dans la cave ou dans tout autre local.

Quoiqu'il en soit, les dispositions seront toujours les mêmes ou à peu près; c'est ainsi que si le courant canalisé est à 110 volts ou à 220 volts, prêt à être utilisé, il arrivera directement à un petit tableau comportant un interrupteur bipolaire, le compteur et un coupe-circuit et se rendra de là aux lampes à éclairer.

Si, au contraire, l'immeuble est important et représente un gros consommateur de courant, on installera dans la cave ou le grenier (en supposant que la distribution soit faite par courants alternatifs distribués par câbles souterrains ou aériens), un transformateur qui abaissera la haute tension des câbles d'arrivée à la tension de 110 volts moins dangereuse, et plus propice au fonctionnement des lampes.

A Paris, par exemple, où beaucoup de quartiers

sont desservis par du courant alternatif à haute tension (3.000 volts), on emploie le dispositif suivant pour l'entrée dans un immeuble important (fig. 102).

Le câble à haute tension qui passe en général sous le trottoir de la rue est mis à nu par une fouille, et tandis que le courant est supprimé sur ce câble, des

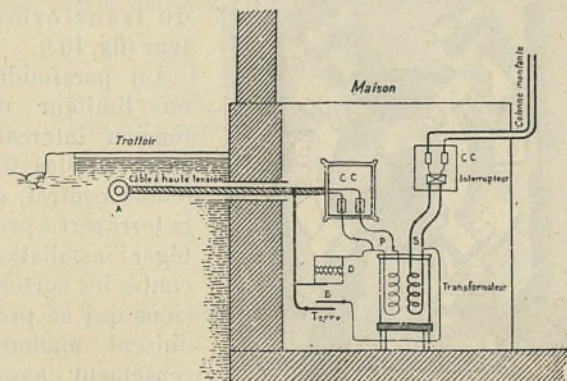


Fig. 102. — Branchement sur câble souterrain à haute tension.

ouvriers appartenant à la Société d'électricité mettent à nu le ou les conducteurs, introduisent la partie mise à jour dans une boîte de jonction et à l'aide de serre-fils relient aux deux fils du câble les deux fils d'un câble plus petit formant dérivation pour l'immeuble à desservir.

Ceci fait, on met le couvercle de la boîte de jonction, et on coule à l'intérieur du goudron chaud qui se répand dans toute la boîte et assure un excellent isolement des parties dénudées qu'il recouvre entièrement.

La dérivation est conduite dans la cave par un trou percé dans le mur de la maison et aboutit à une série d'appareils que nous allons énumérer et que

pour plus de sûreté on enferme dans un coffre ou armoire en bois fermé à clef.

En premier lieu, le câble de dérivation aboutit à un interrupteur à haute tension, puis au primaire du transformateur (fig. 102).

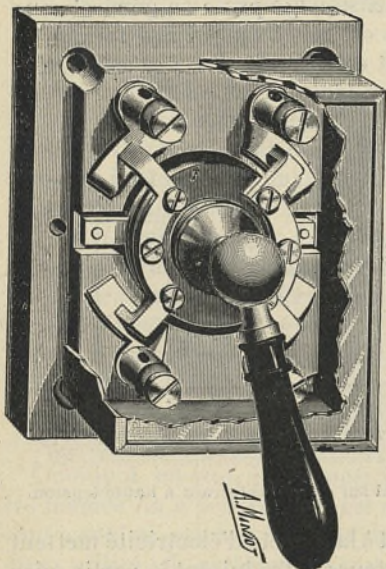


Fig. 103. — Interrupteur bipolaire d'appartement de l'appareillage Grivolos.

Un parafoudre ou limiteur de tension intercalé entre un des fils (câble central) et la terre sert à protéger l'installation contre les surtensions qui se produisent malheureusement assez souvent.

Du secondaire à basse tension du transformateur partent deux fils qui se rendent dans l'immeuble après avoir traversé un interrupteur bipolaire et un coupe-circuit.

Chaque transformateur a son secondaire pourvu d'un dispositif de sécurité Cardew ou autre (voir page 23) dont le rôle est de supprimer automatiquement le courant à haute tension en cas de contact accidentel entre les deux enroulements.

Du coffret d'arrivée, le courant à basse tension dessert les différents étages de l'immeuble par une *colonne montante*, constituée comme son nom l'in-

dique par une canalisation verticale à deux fils passant généralement par l'escalier de service et sur laquelle on fait les branchements des abonnés.

BRANCHEMENT D'ABONNÉ. — Le courant dérivé sur deux fils de la colonne montante entre dans l'appartement de l'abonné en général, par la cuisine et dès son entrée aboutit à un petit tableau en chêne sup-

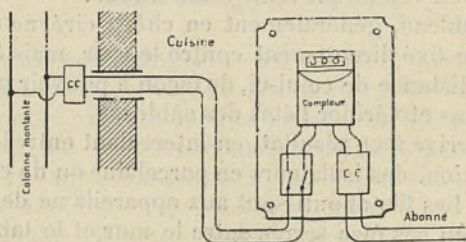


Fig. 104. — Branchement d'abonné sur colonne montante.

portant un interrupteur bipolaire (fig. 103), le compteur et un coupe-circuit.

On place généralement les appareils dans l'ordre indiqué, c'est-à-dire d'abord l'interrupteur bipolaire, ensuite le compteur et enfin le coupe-circuit bipolaire principal (fig. 104).

De cette façon, en manœuvrant l'interrupteur bipolaire, on coupe le courant sur le compteur, ce qui permet d'éviter de laisser cet appareil en circuit pendant une absence prolongée de l'abonné. De plus, si les fusibles du coupe-circuit principal viennent à fondre, il faut pouvoir supprimer le courant pendant qu'on les remplace.

La disposition inverse qui consisterait à placer le coupe-circuit le premier est dangereuse, car il ne faut jamais remplacer les fils d'un coupe-circuit pendant

que le courant est sur l'appareil, étant donné le risque qu'il y a de se brûler souvent assez grièvement par un contact accidentel entre les deux pôles. Les compagnies d'électricité imposent du reste le dispositif ci-dessus représenté (fig. 104). Le coupe-circuit et l'interrupteur bipolaire doivent comporter un couvercle, vitré ou non, qui sera plombé par la compagnie en vue de prévenir toute fraude.

Le tableau, généralement en chêne ciré, ne devra pas être fixé directement contre le mur, mais à une petite distance de celui-ci, de façon à pouvoir passer les mains et vérifier l'état des câbles.

On arrive à ce résultat, en intercalant entre les vis de fixation, des isolateurs en porcelaine ou de caoutchouc. Les fils aboutissant aux appareils ne devront en aucun cas être serrés entre le mur et le tableau, les connexions avec les appareils devront toujours se faire sur le devant.

CHAPITRE II.

Installation de l'éclairage électrique dans un appartement.

Nombre de lampes. — La première question qui se pose avant de faire l'installation est de connaître le nombre exact de lampes à poser. En l'absence des indications qui pourraient être données par le locataire de l'appartement, on devra compter sur une puissance lumineuse représentée par un nombre de bougies égales à la moitié du volume exprimé en mètres cubes. Ainsi, une pièce de 4 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et 3 mètres de hauteur présentant un volume de $4 \times 5 \times 3 = 60$ mètres cubes sera suffisamment éclairée avec 30 bougies, soit 3 lampes de 10 bougies ou 2 lampes de 16 bougies.

Mais ce calcul n'est qu'une grossière approximation, et il peut donner des résultats différents suivant la couleur des tentures, et l'ameublement des pièces.

On peut compter encore sur un éclairage de 1 à 2 bougies par mètre carré de surface de plancher, dans le cas d'un éclairage ordinaire. Si on veut un brillant éclairage, on devra compter 4 à 5 bougies par mètre carré.

La répartition des lampes se fera en tenant compte des circonstances locales, et surtout en se basant sur les indications du propriétaire de l'installation.

Etant donné le plan de l'appartement (fig. 105), on indiquera par une croix l'emplacement des diverses

lampes, puis le nombre de lampes étant définitivement arrêté, on étudiera avec soin le plan et au besoin l'appartement lui-même pour choisir le meilleur passage des fils. On devra être guidé dans ce choix par diverses raisons, notamment l'économie et

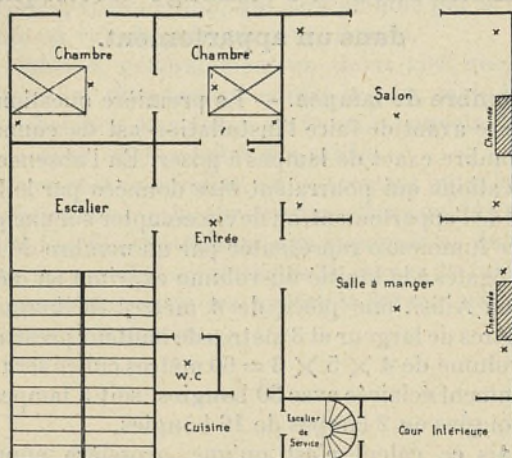


Fig. 105. — Plan d'un appartement à éclairer.

la facilité d'installation. C'est ainsi que l'on recherchera les parcours les plus courts en même temps que l'on évitera le plus possible les percements à travers les murs.

Les praticiens savent que l'on ne peut jamais évaluer d'avance le temps passé à percer un mur ou une cloison ; bien souvent on est arrêté par des pierres d'une dureté exceptionnelle, par une charpente en fer invisible de l'extérieur ou même on rencontre des cavités, voire des cheminées qui obligent à choisir un autre passage. Les pertes de temps qui

résultent de ces divers aléas ne compensent souvent pas l'économie de fil que l'on a voulu réaliser.

Le tableau portant le compteur étant généralement placé dans la cuisine, on fera partir de ce tableau une canalisation générale suivant le ou les couloirs de l'appartement et sur laquelle seront

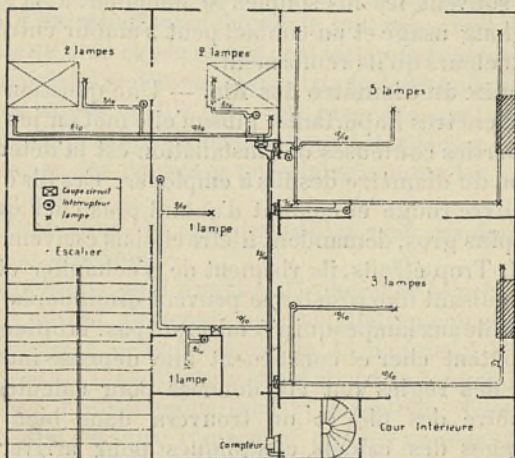


Fig. 106. — Plan des canalisations à établir.

branchées les différentes dérives desservant chaque pièce (fig. 106).

A l'entrée de chaque dérivation, on établira un coupe-circuit bipolaire et l'on devra prévoir un nombre de dérives suffisant, de façon à ne pas avoir plus de cinq à six lampes par coupe-circuit. Le but de cette répartition est d'éviter que la fusion d'un plomb par suite d'un court-circuit ne plonge l'installation entière dans l'obscurité. En ne mettant que cinq lampes par coupe-circuit, seul le fusible de

ces lampes sautera en cas de court-circuit sur l'une d'elles. Un lustre aura pour cette raison ses lampes divisées en plusieurs circuits permettant d'en graduer l'allumage et aussi pour éviter d'être privé totalement de sa lumière en cas de court-circuit. Chaque prise de courant aboutissant à un fil souple, devra être également pourvue d'un coupe-circuit, car bien souvent les fils souples se dénudent à la suite d'un long usage et un contact peut s'établir entre les conducteurs qu'ils renferment.

Choix du diamètre des fils. — Une question évidemment très importante, puisqu'elle met en jeu une des parties coûteuses de l'installation est la détermination du diamètre des fils à employer. Ces fils étant en cuivre rouge et coûtant d'autant plus cher qu'ils sont plus gros, demandent à être choisis convenablement. Trop étroits, ils risquent de s'échauffer et en introduisant une résistance peuvent diminuer la tension utile aux lampes qui n'éclaireront pas. Trop larges, ils coûtent cher et constituent une dépense inutile. Bien des règles ont été données pour calculer le diamètre des fils et on trouvera dans bien des ouvrages des calculs compliqués pour arriver au résultat ; mais, en général, ces calculs souvent longs laissent introduire des erreurs qui conduisent à des diamètres invraisemblables, si on ne les rectifie pas à temps. Mieux vaut, à notre avis, le procédé suivant beaucoup plus simple qui a l'avantage de laisser la place à une extension toujours possible de l'installation dont ne tient pas souvent compte un calcul plus rigoureux.

Pour rester dans de bonnes conditions, on devra choisir la section des câbles telles que l'on ne dépasse pas 2 ampères par millimètre carré pour les gros câbles ayant de 30 à 50 millimètres carrés de

section et 2 à 3 ampères par millimètre carré pour les fils ou câbles ayant moins de 30 millimètres carrés. Enfin on peut aller à 3 ou 4 ampères par millimètre carré dans les fils plus petits.

L'isolement des fils pour les installations à 110 volts devra être formé d'une couche de caoutchouc pur, d'une couche ou de deux couches de caoutchouc vulcanisé, d'un ruban caoutchouté, le tout recouvert d'une tresse ou d'un ruban enduit; cet isolement correspond à peu près à l'isolement kilométrique de 600 mégohms.

Les câbles ou fils nus sont proscrits par tous les règlements pour les installations intérieures, même isolés par des cloches en porcelaine comme les lignes aériennes.

L'évaluation du prix des câbles avec ces données devient très facile.

Supposons qu'il s'agisse de chercher le prix d'un câble devant alimenter une installation comportant 22 lampes à incandescence de 16 bougies à 110 ou 120 volts. Nous mesurerons d'abord la longueur de câbles à prévoir en partant du compteur; il est bon à ce sujet de faire remarquer que les coudes absorbant souvent la plus grande partie de la longueur, il faudra en tenir compte aussi exactement que possible. Supposons que l'on trouve 18 mètres, il faudra doubler cette longueur, puisqu'il y a deux fils à installer, soit 36 mètres.

Les 22 lampes de 16 bougies allumées simultanément représentent sous 110 volts un courant de 11 ampères (un demi-ampère par lampe), le fil devra donc avoir une section telle qu'il ne passe que 3 ampères environ par millimètre carré, c'est-à-dire qu'il devra avoir de 3 à 4 millimètres carrés. En cherchant sur les tables données par les catalogues des constructeurs dans la colonne section en millimètres

carrés, on trouve que les diamètres de fil de cuivre satisfaisant à la condition ci-dessus sont de 20 dixièmes ou 22 dixièmes de millimètre. On prendra l'un ou l'autre de ces fils ; si nous prenons du 20 dixième avec un isolement kilométrique de 600 mégohms, le catalogue nous indique un prix de 570 fr. par kilomètre, soit 20 fr. 50 pour 36 mètres.

Les fils des diverses dérivations se calculent d'une façon analogue, en partant de ce fait que le diamètre de fil correspondant à une seule lampe, doit toujours être de 9 dixièmes de millimètre, on ne doit jamais descendre au-dessous, car les règlements s'y opposent.

En général, on prendra pour un éclairage sous 110 ou 120 volts :

Du fil de 9 dixièmes de millimètre de diamètre pour une lampe.

Du fil de 10 dixièmes de millimètre de diamètre pour deux lampes.

Du fil de 10 dixièmes de millimètre de diamètre pour trois lampes.

Du fil de 11 dixièmes de millimètre de diamètre pour quatre lampes.

Du fil de 12 dixièmes de millimètre de diamètre pour cinq lampes.

Du fil de 15 dixièmes de millimètre de diamètre pour 10 lampes.

Du fil de 20 dixièmes de millimètre de diamètre pour 20 lampes.

Ces nombres très larges permettent de marcher en toute sécurité ; en les choisissant, on verra que l'on peut sans inconvénient greffer de nouvelles lampes, s'il est nécessaire, sans être conduit à changer les fils et sans s'exposer à avoir une densité de courant trop grande. Il ne faut pas perdre de vue en effet que les avantages de l'éclairage électrique sont tels que dans

presque toutes les installations, on ajoute de nouvelles lampes et que rarement elles restent telles qu'on les a posées, ce qui montre bien l'inutilité d'un calcul rigoureux. On ne devra pas oublier non plus que les pertes de tension dans une canalisation proviennent le plus souvent des épissures ou de contacts mal faits que des fils eux-mêmes; on devra donc porter toute son attention sur les raccords.

Pose des fils. — Les fils sont supportés de plusieurs manières différentes; on peut, en particulier, soit les poser dans des moulures, soit les passer dans des tubes, soit simplement les soutenir par des isolateurs.

La moulure très employée à Paris est formée de baguettes de bois, portant des rainures dans lesquelles on encastre les fils; ce procédé est assez commode, mais devient peu élégant quand il s'agit de suivre les contours sculptés; aussi dans les installations de luxe, on préfère employer des tubes isolants recouverts d'un autre tube métallique solide, noyés dans les murs et dans lesquels on passe les fils.

Les fils sont simplement supportés par des isolateurs dans les usines, et dans tous les locaux où ils peuvent rester visibles, sans nuire à l'aspect architectural; ils sont plus commodes à surveiller, mais ils peuvent être heurtés par des échelles ou dénudés par le frottement avec les objets voisins.

1° MOULURE. — Les moulures en sapin se font pour des fils de toutes dimensions à deux ou trois rainures. On doit les choisir avec des rainures un peu plus larges que le diamètre des fils qu'elles doivent recevoir, de façon à ce qu'en aucun cas, les fils n'y soient logés par force.

On commence par poser la moulure en suivant le parcours qui aura été choisi; on la cloue simplement

contre le mur avec de petites pointes (fig. 107), en ayant bien soin de les planter dans la cloison qui sépare deux rainures et de ne jamais emprunter ces dernières pour faire passer un clou, ce qui aurait pour effet de diminuer l'isolement en mettant le fil en relation directe avec le mur et le sol.

Lorsque les clous ne pourront s'enfoncer dans le mur par suite de la présence de pierres trop dures, on devra faire des tamponnages.

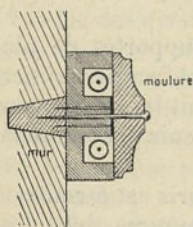


Fig. 107. — Coupe d'une canalisation sous moulure.

Tamponnages. — Le tamponnage se fait à l'aide d'un outil en acier trempé appelé tamponnoir qui porte à l'une de ses extrémités une partie coupante.

On tape sur l'autre extrémité à l'aide d'un marteau tout en tournant constamment le tamponnoir de la main gauche, l'outil se fraye ainsi un passage à travers les pierres les plus dures sous les chocs répétés qu'il reçoit. Lorsque le trou atteint 3 à 4 centimètres de profondeur, on découpe un morceau de bois ayant exactement sa forme et on l'enfonce dans le trou de façon à le boucher complètement; on peut alors soit visser un objet, soit clouer la moulure sur le bois qui remplit le trou.

La moulure est quelquefois ignifugée, c'est-à-dire enduite d'un liquide de composition spéciale qui l'empêche de s'enflammer, mais on n'arrive jamais à éviter la combustion du bois, quand il est suffisamment sec et échauffé; en tous cas, ces enduits ne peuvent jamais faire de mal, car ils augmentent le plus souvent l'isolement donné par la moulure.

Une fois les fils logés dans la moulure, on place le couvercle.

Il convient de signaler à ce propos une cause fréquente de défauts d'isolement provenant de ce que bien souvent en fixant le couvercle on cloue les fils avec.

Un clou mal placé perce l'isolant du fil et s'enfonçant dans le mur établit une communication directe de l'âme en cuivre avec la terre.

Ce défaut est d'autant plus désagréable qu'il est plus difficile à trouver; on devra donc veiller avec beaucoup de soin à ce que les clous du couvercle n'entrent dans la moulure que par la cloison qui sépare les fils.

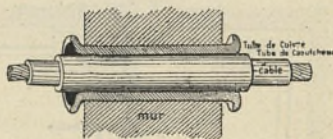


Fig. 108. — Coupe d'un percement.

La moulure ne peut être employée partout; en particulier dans la traversée des murs ou pour contourner un tuyau quelconque, on peut se demander quelle est la meilleure manière de procéder dans ces circonstances.

Percements. — Après avoir choisi l'endroit exact où les fils doivent traverser un mur ou une cloison, on commence à percer le mur à l'aide d'un outil qui pourra être un simple tamponnoir, si le trou se fait à travers une cloison ou avec des mèches spéciales très longues que l'on manœuvre avec un vilebrequin spécial.

Le trou étant percé, on le garnit d'un tube de laiton, coupé d'une longueur telle, qu'il déborde légèrement de chaque côté du trou. Ce tube est évasé à ses extrémités, de façon à ne pas présenter d'arêtes coupantes (fig. 108).

Les fils amenés par une moulure jusqu'au bord du trou sont passés dans le tube de cuivre, après avoir reçu une protection supplémentaire constituée par

un tube de caoutchouc que l'on passe sur chaque fil. En général, il vaut mieux percer deux trous, un pour chaque fil, ces deux trous étant distants l'un de l'autre de 7 à 8 centimètres, mais le plus souvent on n'en perce qu'un seul dans lequel on passe un tube de laiton assez large pour recevoir les deux fils.

Le tube métallique ne doit pas être pris en fer, car ce métal en s'oxydant attaquerait l'isolant des fils, le rôle de ce fourreau est d'éviter que les aspérités du

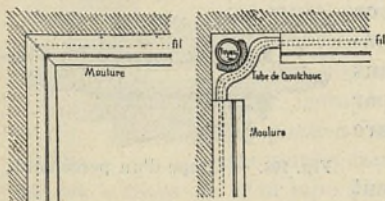


Fig. 109. — Passage des fils dans les angles.

mur n'endommagent l'isolant du fil; il constitue une protection mécanique.

L'emploi d'un isolement supplémentaire donné par un tube de caoutchouc est

indispensable (fig. 109); du reste, en règle générale, chaque fois que le fil sort de la moulure pour se rendre à un appareil quelconque, il doit être protégé par une gaine de caoutchouc.

Ainsi recouvert, l'humidité est sans action dessus, particulièrement dans la traversée des murs.

Tuyaux d'eau ou de gaz. — Chaque fois que l'on aura à passer sur un tuyau d'eau ou de gaz ou une charpente métallique, on arrêtera la moulure quelques centimètres avant le tuyau, et on passera les fils en les recourbant en forme de pont au-dessus du tuyau (fig. 110). Ici, plus que jamais, il est indispensable de passer sur les fils un tube de caoutchouc et pour éviter encore tout accident, on devra entourer le tube ou la pièce métallique d'un morceau de caoutchouc.

Il est arrivé en effet, trop souvent, lorsque ces précautions n'étaient pas prises, qu'une canalisation électrique est entrée en contact avec un tuyau de gaz, le tube a été fondu et le gaz a pris feu.

Montage des fils sur les appareils à gaz. — Dans bien des cas, lorsqu'on veut conserver des appareils

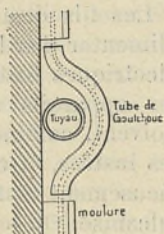


Fig. 110. — Passage sur un tuyau.

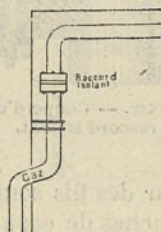


Fig. 111. — Isolement d'une canalisation de gaz.

fonctionnant au gaz d'éclairage, on est conduit à fixer des lampes électriques sur ces appareils.

La première précaution à prendre est d'isoler électriquement de la terre l'appareil à gaz, de façon à éviter toute perte de courant vers le sol par les tuyaux à gaz. On insèrera pour cela dans le trajet du tuyau un *raccord isolant* dont la mission est de laisser passer le gaz tout en maintenant isolé le tube desservant l'appareil.

Ces raccords isolants sont formés de deux pièces métalliques, réunies par un joint constitué par une matière isolante (fibre vulcanisée ou ébonite) (fig. 112). De petits boulons soigneusement isolés maintiennent serrées ces deux parties. Pour poser le raccord, on le soude ou on le visse sur la patère de fixation de l'appareil à gaz, le tube de ce dernier étant vissé sur le raccord comme l'indique la fig. 113.

Il est bon malgré la présence d'un raccord isolant sur chaque appareil à gaz d'en mettre un autre sur la canalisation générale à son entrée (fig. 111) dans l'appartement ce qui évitera tout accident, si par

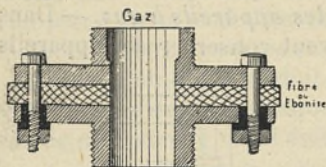


Fig. 112. — Coupe d'un raccord isolant.

hasard un des raccords d'appareil était hors de service.

Les fils destinés à alimenter des lampes électriques fixées sur les appareils à gaz doivent, comme pour les lustres, être constitués par des fils souples soigneusement isolés par deux couches de caoutchouc vulcanisé. On leur fait suivre les branches de l'appareil d'éclairage dont ils

épousent les contours (fig. 113).

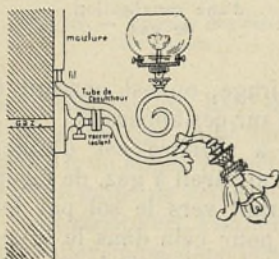


Fig. 113. — Montage d'une lampe électrique sur un appareil à gaz.

On les maintient en place en place par des fils de lin serrant les conducteurs contre la partie métallique du tube avec interposition d'une petite feuille de caoutchouc.

Traversée des plafonds. Lustres. — Les

fils ayant à suivre des plafonds pour desservir un lustre sont constitués par des fils souples assortis aux peintures. On les dissimulera le plus possible en leur faisant épouser les sculptures et les boiseries, et on les maintiendra en place non par des clous cavaliers comme on serait tenté de le faire, mais par des fils de lin ou de soie fixés eux-mêmes à

l'avance à de petits clous noyés dans le plafond. (fig. 114) Cette façon de procéder évite tout contact direct du conducteur avec les clous, en même temps qu'il procure un montage très élégant, puisqu'aucun support du fil n'est apparent.

Les lustres, suspensions, etc., destinés à recevoir des lampes électriques doivent être soigneusement isolés à leur point d'attache. On emploiera pour cela des crochets munis de poulies isolantes que l'on trouve partout dans le commerce aujourd'hui. Le moyen qui consiste à envelopper le crochet de caoutchouc ou de toile isolante est à rejeter, car tôt ou tard, l'isolant se trouve cisailé par le poids du lustre et l'isolement disparaît.

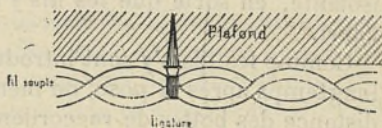


Fig. 114. — Passage de fils souples sur un plafond.

Les appliques, lustres, suspensions etc., constitués par des tubes ornés dans lesquels passent les fils, doivent être soigneusement vérifiés avant la pose.

Très souvent, en effet, il arrive que ces appareils sont vendus prêts à être raccordés, c'est-à-dire avec leurs douilles montées et les fils passés; comme ce travail est malheureusement trop souvent confié chez le constructeur à un personnel négligent ou inexpérimenté, on constate fréquemment des contacts entre un et même plusieurs fils et la masse; il faut alors démonter complètement les divers circuits constituant l'appareil et les refaire très soigneusement.

Bien des installations parfaitement établies pour ce qui était de la pose des fils le long des murs ont donné lieu à des défauts d'isolement prove-

nant d'un montage défectueux des appareils d'éclairage.

2° INSTALLATIONS AVEC TUBES ISOLANTS. — On fabrique depuis quelque temps des tubes en carton spécial comprimé que l'on place directement dans les murs pendant la construction de la maison et dans lesquels on passe les fils (tubes Bergmann, etc.)

Ces tubes résistent assez bien à l'humidité et la matière qui les constitue est déjà par elle-même très isolante, en sorte que les fils y sont parfaitement à l'abri.

Comme les fils n'y sont introduits quelquefois que longtemps après la pose, on ménage de distance en distance des boîtes de raccordement qui faciliteront le passage des conducteurs. Pour tirer les fils, on passe dans les tubes un ruban souple d'acier à la suite duquel on fixe les fils qu'il est alors facile de tirer. Les tubes sont fournis par longueurs de trois mètres environ, les jonctions se font à l'aide d'un manchon métallique dans lequel on passe les extrémités des tubes que l'on pousse l'une contre l'autre, jusqu'à ce qu'elles se rejoignent. On serre ensuite le tube avec une pince particulière et on chauffe le raccord dont la matière se colle au manchon et donne ainsi une bonne liaison. Il faut éviter de placer sur un même parcours plus de quatre coudes, car on ne pourrait plus tirer les fils; on est alors obligé de disposer entre les coudes, des boîtes de raccord permettant d'introduire les fils et de les raccorder ensuite.

Ce matériel comporte également des boîtes de branchement, des boîtes pour coupe-circuits prises de courant, etc. Lorsqu'il est posé avec soin il donne d'excellents résultats, mais ainsi qu'il est facile de le voir, il se prête moins bien que la moulure à une

installation faite après coup, c'est-à-dire dans un appartement terminé.

Certains installateurs emploient des tubes métalliques (laiton) enfouis dans la maçonnerie dans lesquels on passe des fils protégés sur toute leur longueur par des tubes en caoutchouc; le fil est ainsi parfaitement isolé et il reste invisible, on réalise ainsi des installations très élégantes.

3° INSTALLATIONS AVEC FILS SUR ISOLATEURS. — Les règlements s'opposant à l'emploi de fils nus montés sur isolateurs à l'intérieur des maisons, on est conduit à prendre des fils isolés analogues à ceux que l'on emploie dans les moulures. Les fils sont soutenus tous les deux ou trois mètres en alignement droit par des isolateurs ou poulies en porcelaine vissés sur des taquets en bois paraffiné.

Pour arrêter le fil sur la poulie ou l'isolateur, il ne faut pas se servir d'un fil métallique qui entaillerait l'isolant, on emploie simplement de la cordelette goudronnée.

Les installations sur isolateurs en porcelaine s'imposent dans les caves, usines et locaux humides; si en effet dans ces circonstances, on employait de la moulure, on ne tarderait pas à avoir des défauts d'isolement provenant de ce que les baguettes en bois s'imprègnent très vite d'humidité et ne conviennent qu'aux endroits parfaitement secs. Certains installateurs utilisent des câbles sous plomb, mais l'emploi de ces câbles peut donner lieu à des surprises désagréables; aussi sommes-nous d'avis absolument opposé.

Mieux vaut dans une cave humide une canalisation sur isolateurs dont tous les points sont accessibles et faciles à visiter qu'un câble sous plomb.

La pratique montre que très souvent, pendant la

pose, de petites fissures se produisent aux endroits où le câble a été trop plié par lesquelles l'humidité s'introduit à la longue et endommage les isolants des fils. D'autres fois, ce sont des rongeurs (souris ou rats) qui entament le câble et provoquent des défauts d'isolement. Enfin dans certains locaux, en présence de l'acide acétique, le plomb est vite attaqué et les fils ne sont plus protégés.

Les fils posés sur isolateurs, tout aussi bien que les lignes aériennes exposées à la pluie, résistent à l'humidité et sont d'un emploi commode; les raccordements sont également plus faciles à maintenir isolés qu'avec le câble sous plomb, et la pose est presque aussi rapide que celle du câble sous plomb. (Voir page 180).

Quelquefois, on rencontre à l'intérieur des appartements, des installations faites en fil souple supportés par de minuscules poulies en os ou en porcelaine, Ce procédé peut être employé à la rigueur dans des endroits très secs, mais il n'est pas accepté en général par des grandes compagnies d'électricité.

CHAPITRE III

Appareillage intérieur.

Appareillage intérieur. — L'appareillage intérieur comporte des interrupteurs, des coupe-circuits des prises de courant, des douilles de lampes, etc. Toutes ces pièces ne doivent pas contenir de matières combustibles, de façon à ne pas donner lieu à des commencements d'incendie en cas d'accident.

Interrupteurs. — Les interrupteurs se font généralement en porcelaine ou en faïence avec des dimensions différentes suivant qu'ils doivent fonctionner sur des circuits à 110 volts ou à 220 volts.

Même pour une lampe, ces appareils doivent être à rupture brusque, de façon à ne pas laisser persister d'étincelle ou d'arc, lorsqu'ils sont insuffisamment tournés.

On en fait de toutes sortes et il serait trop long de les passer ici en revue; généralement, leur fonctionnement se devine à leur seul aspect (fig. 115).

Les interrupteurs reçoivent par deux trous et des rainures encastrées dans le socle, les fils qu'ils doivent relier; ils se fixent au mur par un tamponnage à

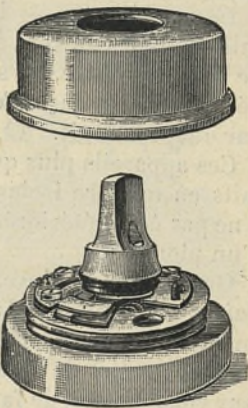


Fig. 115. — Interrupteur.

l'aide de deux vis à bois. Il faut avoir soin de bien choisir ses vis, de façon à ne pas briser la porcelaine en les plaçant.

L'interrupteur ne devra jamais reposer directement contre le mur; on s'interposera entre le socle et le mur soit une rondelle de caoutchouc soit une rondelle de mica. D'autre part, les fils sortant de la moulure pour arriver à l'interrupteur devront être pourvus d'une gaine isolante supplémentaire constituée par un tube de caoutchouc qui devra envelopper les fils dans leur parcours dans la rainure sous l'interrupteur.

Coupe-circuits. — Les coupe-circuits comme les interrupteurs se font pour 1 ou 5 ampères; au delà de cette intensité, on sait que l'on doit multiplier les dérivations, de façon à ne pas avoir plus de 5 lampes par coupe-circuit.

Ces appareils plus que tous les autres doivent être faits en matière isolante et incombustible, de façon à ne pas être détériorés par l'arc qui jaillit à la fusion d'un plomb.

On ne doit employer que des coupe-circuits *bipolaires* et rejeter les appareils unipolaires, car de même que sur les chaudières à vapeur, on emploie deux soupapes de sûreté, on doit mettre un fil fusible sur chaque pôle, de façon à ce que si pour une raison quelconque, l'un d'eux ne sautait pas, l'autre soit prêt à rompre le circuit. Pour éviter les court-circuits qui pourraient se produire au moment de leur remise en état on établit entre les pôles une cloison isolante et incombustible que l'on devra toujours exiger du fournisseur. On emploie du reste de plus en plus aujourd'hui les coupe-circuits à barrette mobile que l'on remplace très facilement et qui évitent bien des accidents.

Il est en effet parfois difficile de remettre un plomb fusible, les coupe-circuits étant placés le plus souvent dans des coins inaccessibles et leur fusion se produisant le plus souvent la nuit, au plus fort de l'éclairage.

Pour remédier à cet inconvénient, on groupe souvent tous les coupe-circuits d'une installation sur un petit tableau placé à portée de la main et muni de fusibles à barrette (fig. 116). Il suffit de préparer à l'avance des fils fusibles sur un certain nombre de barrettes de rechange que l'on mettra à la place de celles qui viendraient à fondre.

On doit proscrire absolument tous les coupe-circuits à couvercle métallique, ces appareils étant extrêmement dangereux et souvent d'une efficacité illusoire.

Tantôt on provoque un court-circuit, en réunissant les deux pôles par le métal du couvercle, tantôt on réunit les extrémités du fil fusible qui ne joue plus aucun rôle, le courant passant directement par le couvercle lui-même.

Prises de courant. — Lorsqu'on veut relier une lampe mobile à la canalisation électrique, on emploie un fil souple terminé par une prise de courant.

Comme tous les appareils précédents, les prises de courant se font en porcelaine ou en faïence ou en

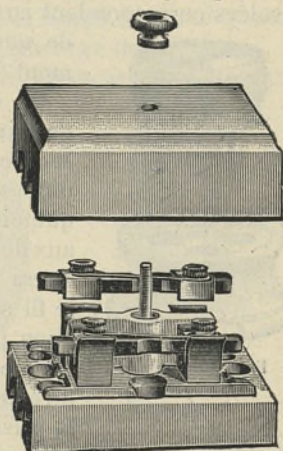


Fig. 116. — Coupe-circuit à barrettes de l'appareillage électrique Grivolat.

toute autre matière isolante et incombustible, il existe une très grande variété de formes de prises de courant; on devra cependant choisir celles qui offrent le moins de chance de court-circuit. Ainsi un modèle portant deux trous, un pour chaque pôle sur lequel on adapte un bouchon portant deux broches isolées correspondant aux deux trous offre beaucoup de garanties de bon fonctionnement (fig. 117).

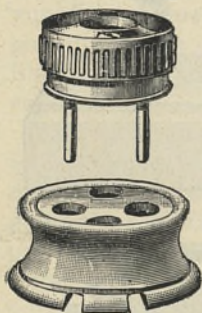


Fig. 117. — Prise de courant.

On devra prendre soin d'éviter de faire toucher des brins du fil souple appartenant à des pôles différents ce qui se produit quelquefois en attachant le fil souple aux deux broches du bouchon. On devra arrêter aussi par un nœud le fil souple à l'intérieur du bouchon pour éviter qu'une traction sur le fil souple se transmette directement aux contacts. Enfin, la prise de courant devra être iso-

lée du mur par une rondelle de mica ou de caoutchouc. N'oublions pas d'ajouter que bien des compagnies d'électricité exigent que chaque prise de courant soit protégée par un coupe-circuit, les contacts accidentels entre les conducteurs d'un fil souple étant assez fréquents surtout si ce fil est tant soit peu usagé.

Douilles ou supports de lampe. — Les lampes à incandescence sont supportées par des pièces spéciales appelées douilles qui affectent deux formes différentes :

- 1° La douille à vis ou Edison.
- 2° La douille à baïonnette.

La douille à vis ou Edison remonte à l'invention

de la lampe à incandescence; c'est une des plus simples; elle se compose d'un tube portant un filetage intérieur ou simplement un ressort à boudin sur lequel se visse la lampe qui doit pour cela être pourvue d'un pas de vis (fig. 118).

Au fond du tube, un petit ressort vient prendre contact avec l'extrémité de la lampe à incandescence qui porte en cet endroit un bossage métallique.

Les deux extrémités du filament de l'ampoule

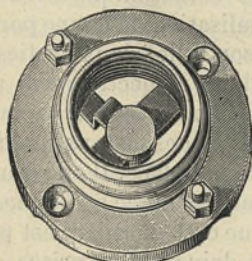


Fig. 118. — Douille à vis de l'appareillage Grivolos.

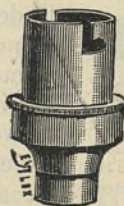


Fig. 119.
Douille à baïonnette Grivolos.

communiquant d'une part avec le pas de vis et d'autre part avec le bossage central. De cette façon, en vissant la lampe sur la douille, le courant pourra parvenir au filament, le tube et le ressort étant reliés chacun à l'un des fils de la canalisation électrique.

Les douilles à vis très employées en Amérique et en Angleterre sont très commodes; on leur reproche quelquefois de laisser échapper les lampes, quand par suite de trépidations, ces dernières tournent dans leur support; mais cet inconvénient est évité, quand on les visse dans une douille à ressort à boudin.

La douille à baïonnette (fig. 119) très employée en France, est constituée par un tube métallique dans lequel on introduit la lampe.

La lampe reste fixée à la douille, grâce à la présence de deux tenons métalliques placés sur le côté qui viennent se loger dans une échancrure pratiquée dans la douille, analogue à celle qui servait à fixer les anciennes baïonnettes sur les fusils; de là le nom donné à la douille.

Au fond du tube se trouvent deux contacts à ressort appelés *pistons*, montés sur une petite pièce en porcelaine qui les isole (fig. 120).



Fig. 120 —
Pastille
isolante
avec pistons
de contact.

Chacun de ces pistons communique avec un des fils de la canalisation, la lampe porte elle-même dans son culot deux parties plates en métal, reliées respectivement aux extrémités du filament et qui viennent se trouver en regard des pistons, quand l'ampoule est mise en place. Il en résulte que la canalisation est reliée au filament de la lampe, dès que cette dernière est montée.

Certaines précautions doivent être prises dans le montage des douilles; c'est ainsi que l'on doit isoler avec soin la douille du support sur laquelle elle est vissée; très souvent, en effet, se produit des contacts des fils avec la partie métallique, et si cette dernière n'est pas isolé, le courant se rend au sol par l'applique ou l'appareil qui supporte la douille. D'autres fois, la disposition des pistons est telle qu'en appuyant dessus, pour mettre une lampe, par exemple, ils viennent faire contact avec la partie métallique évasée située au-dessous d'eux et un court-circuit se produit. On préfère aujourd'hui employer des douilles dans lesquelles les pistons sont logés dans un tube qu'ils ne peuvent dépasser.

CHAPITRE IV

Installations extérieures.

Les installations extérieures (cours, jardins, rues, etc.) sont en général plus faciles à réaliser que les installations d'appartement dans lesquelles on cherche à dissimuler les fils le plus possible dans des moulures ou dans des tubes.

A l'extérieur au contraire les fils des installations électriques sont tendus le plus souvent sur des isolateurs en porcelaine à la façon des lignes télégraphiques ce qui en rend la pose et la surveillance faciles.

On peut se contenter de fils nus à la condition de les écarter suffisamment et de les tendre correctement sur des isolateurs en forme de cloche scellés dans les murs, c'est le procédé employé dans les rues de beaucoup de localités pour distribuer l'énergie électrique.

Cependant dans les cours d'une usine, ou lorsque les fils ne sont pas hors de portée et peuvent être touchés par des échelles ou par des objets métalliques (barres de fer etc) : manipulés dans le voisinage il convient d'employer des conducteurs recouverts.

Dans ces conditions, on n'a pas besoin de choisir un isolement aussi élevé que celui qui convient aux fils ou moulures, un isolement léger suffit puisque les lignes sont déjà suffisamment isolées par les cloches en porcelaine qui les supportent (fig. 121).

Cette légère couverture empêchera qu'il se produise des court-circuits si par un déplacement dû au

vent ou aux objets voisins les fils étaient mis en contact entre eux.

Pose. — Pour poser une ligne aérienne, on commence par déterminer l'emplacement des supports en se basant pour cela sur les conditions locales, c'est ainsi que l'on évitera autant que possible d'installer des poteaux et que l'on utilisera les murs pour y sceller des isolateurs à cloche.

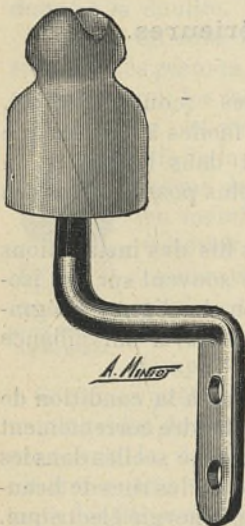


Fig. 121. — Isolateur à cloche.

Le scellement se fait comme d'ordinaire, il faut qu'il soit suffisamment profond pour que la cloche ne tourne pas ou ne se déplace pas sous la tension des fils. Bien vérifier que les tiges de scellement se terminent par des pattes destinées à l'empêcher de tourner dans le mur.

Les isolateurs étant scellés, on s'assure que le plâtre ou le ciment ont fait une prise énergique; on peut alors dérouler les fils et les faire reposer sur les isolateurs. La tension voulue ne peut guère s'obtenir à la main sauf pour de très petites portées; on se sert en général d'un moufle à cordes facile à emporter que l'on fixe d'une part à un objet solide, une tige d'isolateur par exemple et d'autre part au fil, on agit sur la corde jusqu'à obtenir la tension voulue.

Il ne faut pas tendre trop énergiquement car on pourrait fausser les tiges des isolateurs et si la pose est faite en été, il y aurait des ruptures à craindre

en hiver par suite de la contraction du métal.

D'un autre côté il ne faut pas qu'il y ait trop de « mou » car sous l'effet du vent les fils pourraient venir se toucher.

Les règlements en vigueur ne permettent pas de prendre des fils d'un diamètre inférieur à 3 mm. pour la traversée des rues, on ne devra pas l'oublier, mais dans une propriété privée on peut descendre au-dessous de ce diamètre.

Une ligne aérienne étant posée, les dérivations se font très simplement puisque les conducteurs sont nus et par suite facilement accessibles. Il faut cependant avoir soin de ne pas faire de branchement au milieu d'une portée. On doit toujours faire l'épissure sur un isolateur ou très près de ce dernier, à cause du mauvais aspect qu'ont toujours des fils non tendus.

(C'est forcément le cas des dérivations faites loin de tout support).

L'épissure sera soudée et les fils de la dérivation correctement tendus sur des isolateurs analogues à ceux de la ligne principale. Le plus souvent les cloches de dérivation portent un coupe-circuit (fig. 122) qui permet de protéger le branchement et de localiser un défaut, s'il s'en produit un.

Entrée. — Pour pénétrer à l'intérieur d'un édifice quelconque, les fils sont arrêtés sur des isolateurs à cloche que l'on scelle *en-dessous* de l'endroit choisi pour l'entrée.

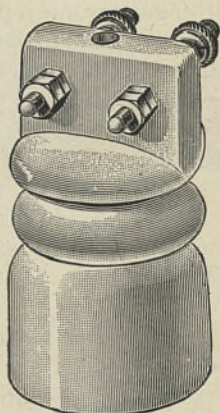
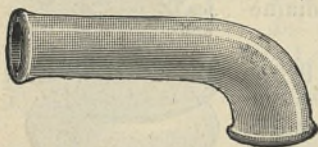


Fig. 122. — Coupe-circuit sur isolateur.

On perce généralement autant de trous qu'il y a de fils à faire pénétrer (1) et on garnit chacun d'eux d'un tube protecteur que l'on termine extérieurement par un tube en porcelaine recourbé en forme de pipe et scellé dans le mur.

Les fils choisis d'un fort isolement sont en outre protégés par une gaine supplémentaire en caoutchouc et passés chacun dans leur percement, ils dépassent à chaque extrémité et viennent se raccorder d'une part



aux fils aériens arrêtés *en dessous* des pipes et d'autre part à l'installation intérieure.

Ainsi qu'on le devine facilement on emploie des tubes recourbés en forme de pipe (fig. 123) et tournés vers le bas de façon à éviter l'introduction de l'eau de pluie dans le percement. Pour cette raison également, on arrête les fils de descente *au-dessous* du percement car dans ces conditions les gouttes d'eau descendant le long des fils ne peuvent pénétrer à l'intérieur des tubes.

Installations de caves et de locaux humides. — Les installations dans les caves et autres locaux humides doivent être traitées comme celles faites en plein air; il convient donc de ne jamais employer dans ces cas les fils sous *moulure*, même si cette dernière est enduite ou paraffinée.

Le bois ne tarde pas à pourrir et en tous cas

(1) On peut évidemment faire passer tous les fils dans le même trou, mais ils risquent alors d'entrer en contact à l'intérieur du percement et il peut en résulter des court-circuits dangereux.

simples lignes d'arrivée et de distribution

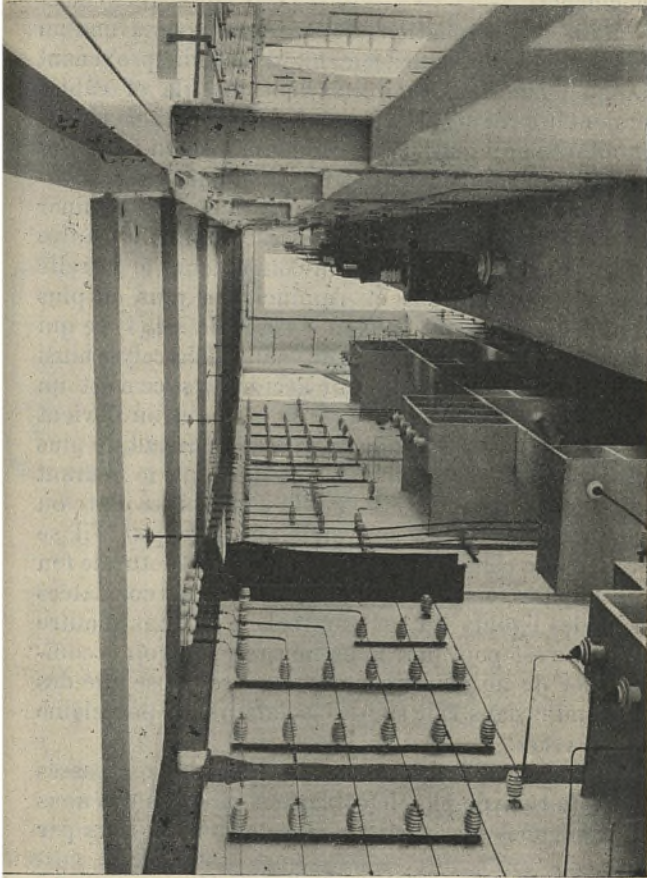


Fig. 124. — Vue intérieure d'une installation intérieure à haute tension montrant le montage des fils sur isolateurs en porcelaine.

(1) Les seuls véritables commutateurs à haute tension sont ceux qui sont basés sur le principe de l'arc électrique. Les autres commutateurs à haute tension sont des commutateurs à contact à distance.

s'imbibe toujours d'humidité ce qui entraîne des accidents.

Dans des installations de ce genre, nous avons pu constater des commencements d'incendie provenant uniquement de l'humidité dont les fils et câbles étaient imprégnés. Voici en effet, ce qui se passe : la moulure imprégnée d'eau communique son humidité aux fils qu'elle contient et un phénomène d'électrolyse ne tarde pas à se produire. Au lieu de cheminer le long des fils, le courant passe d'un fil à l'autre grâce à l'eau qui est un semi-conducteur, le fil relié au pôle positif s'use et s'amincit de plus en plus tandis que le cuivre passant à l'état de sel (1) ce qui augmente la conductibilité du bain d'électrolyse ainsi constitué. Jusque là aucun accident, si ce n'est un défaut d'isolement, mais où le phénomène devient dangereux, c'est lorsque le fil s'amincissant de plus en plus vient à se rompre ; à ce moment, le courant continue à franchir l'intervalle sous forme d'arc ou d'étincelle qui peut soit enflammer du gaz s'il se trouve une canalisation à proximité, soit mettre le feu aux objets avoisinants. Bien des explosions constatées dans les égouts ou les sous-sols n'ont pas d'autre cause ; c'est pourquoi nous ne saurions trop recommander de ne jamais employer autre chose que des fils tendus dans l'air sur des isolateurs en porcelaine ou en verre.

On a conseillé également l'emploi des fils passés dans un tube de plomb (câble sous plomb) mais nous n'en sommes pas partisan. L'eau finit toujours par

(1) Ces sels verdâtres communément appelés " vert de gris " ne sont pas du vert de gris à proprement parler, mais des oxydes de cuivre hydratés contenant aussi quelquefois des acétates provenant de l'acide acétique du bois.

s'introduire à la longue, dans ces câbles et le phénomène d'électrolyse se produit, il y a alors une mise à la terre presque parfaite des fils, car le plomb constituant l'enveloppe court le long des murs avec lesquels il reste en contact.

Quand un défaut de ce genre se manifeste dans un

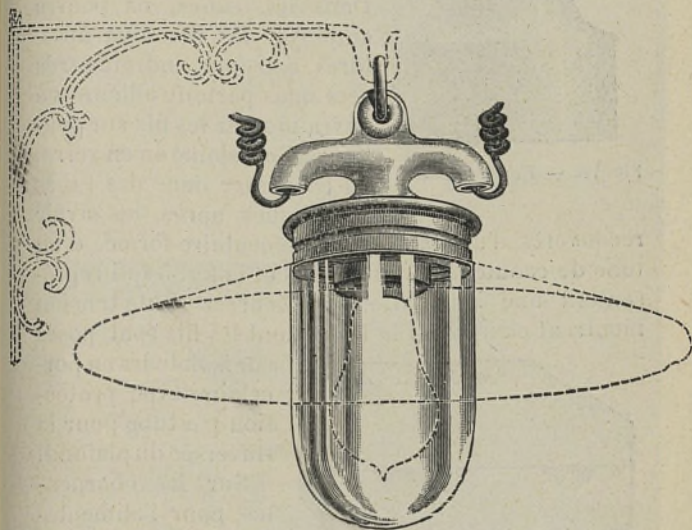


Fig. 125. — Lampe étanche pour locaux humides.

câble sous plomb, il est en général très difficile à trouver car il est masqué par le tube, il en résulte qu'on est souvent conduit à remplacer le câble sur toute sa longueur ce qui revient assez cher.

Les lampes des installations faites dans des locaux humides seront montées dans des appareils étanches spéciaux (fig. 125) avec tête en porcelaine exactement comme si elles devaient fonctionner sous la pluie. Les

coupe-circuits seront fixés sur des cloches spéciales ainsi que les interrupteurs. A la rigueur on pourra les fixer sur une double planchette en bois paraffiné isolée du mur par des poulies en porcelaine (fig. 126 et 128).

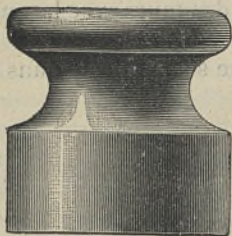


Fig. 126. — Poulie haute.

Installations d'usines. — Dans les usines, on pourra employer les fils sous moulures dans les endroits *très secs* mais partout ailleurs on devra monter les fils sur poulies en porcelaine ou en verre, ou les passer dans des tubes métalliques après les avoir

recouverts d'une gaine supplémentaire formée d'un tube de caoutchouc. La fig. 128 et la fig. 3 qui représentent une installation intérieure à haute tension montrent clairement la façon dont les fils sont posés

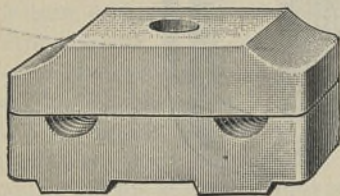


Fig. 127. — Taquet en porcelaine.

sur isolateurs en porcelaine avec protection par tube pour la traversée du plafond.

Sur les charpentes, pour l'alimentation des lampes à arc ou des moteurs, on pourra fixer des ta-

quets en bois paraffiné supportant des poulies hautes en porcelaine et sur lesquelles on tendra les fils.

En aucun cas, on ne devra employer de fils nus, par suite des court-circuits que peuvent provoquer le contact d'échelles, perches ou tiges métalliques d'un emploi constant dans les ateliers.

Les descentes de fils se feront le long des murs ou des colonnes sur des isolateurs (fig. 127) ou poulies

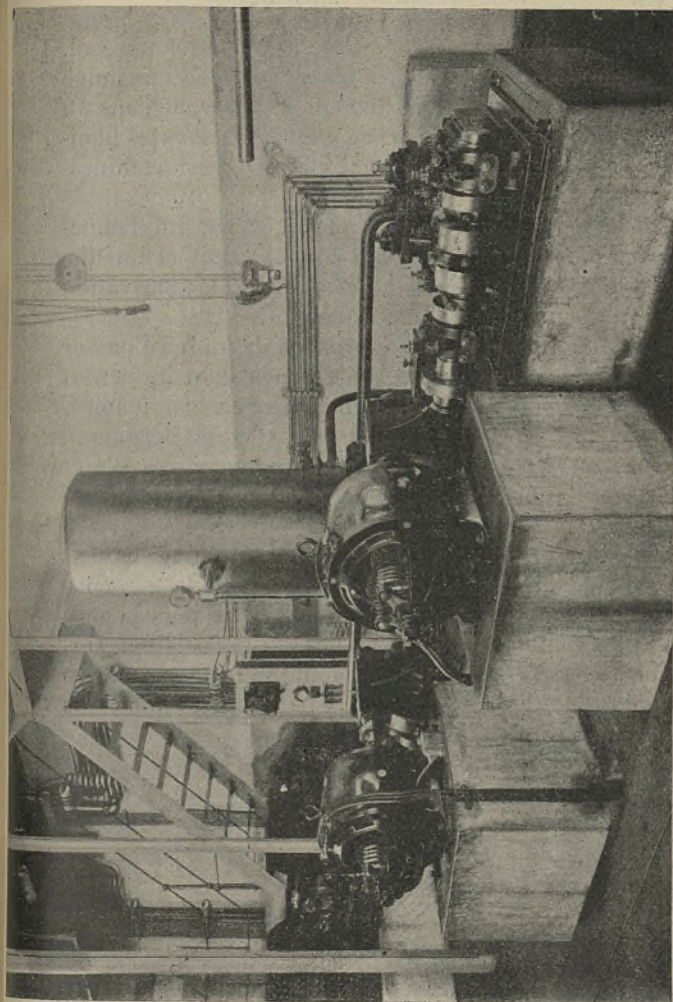


Fig. 128. — Vue intérieure d'une installation d'usine montrant le montage des fils et des moteurs

en porcelaine (fig. 126) jusqu'à 2 mètres du sol.

A hauteur d'homme, les fils recouverts d'une gaine supplémentaire de caoutchouc pénétreront dans un tube de cuivre ou de laiton s'engageant sous les planchers et amenant le courant aux diverses machines-outils.

Chaque dérivation sera protégée par un coupe-circuit bipolaire ou par un coupe-circuit et un disjoncteur automatique à maxima si la dérivation alimente un moteur électrique.

Le long des machines-outils on devra faire passer les fils dans des tubes métalliques dont ils seront isolés par une gaine supplémentaire en caoutchouc.

On peut également employer les tubes Bergmann et autres qui protègent très efficacement les fils et évitent toute mise à la terre grâce à la garniture isolante intérieure dont ils sont pourvus. La fig. 125 qui représente une installation de pompes actionnées électriquement, dans un local très humide par conséquent montre les dispositions adoptées pour la pose des fils tendus tous sur poulies en porcelaine. Des gaines supplémentaires en caoutchouc protègent les câbles dans leur passage dans les tubes le long des bâtis des moteurs électriques.

CHAPITRE V

Conditions imposées à Paris pour les installations électriques.

Nous donnerons en terminant quelques indications sur les conditions que l'on impose à Paris aux installateurs; elles pourront paraître un peu sévères, mais elles doivent être observées dans toute installation un peu importante où l'on veut se mettre en règle et éviter tout danger d'incendie.

Isolement. — La résistance d'isolement d'un circuit ou de n'importe quelle fraction de ce circuit devra être calculée en se basant sur une perte consentie de 2 dix-millièmes du débit à fournir sous une tension de 500 volts.

On devra obtenir de la sorte :

8 Mégohms pour une lampe de 10 bougies;

800.000 Ohms pour un groupe de 10 lampes;

320.000 Ohms pour un groupe de 25 lampes;

160.000 Ohms pour un groupe de 50 lampes;

80.000 Ohms pour un groupe de 100 lampes.

Tout isolement inférieur entraîne le refus du courant.

Conducteurs. — Tous les fils ou câbles employés seront en cuivre de haute conductibilité.

La densité de courant ne devra pas dépasser :

2 Ampères par millimètre carré pour des sections de 1 à 5 millimètres carrés.

1 Ampère par millimètre carré au-dessus de 5 millimètres carrés.

On n'emploiera aucun conducteur de section inférieure à 0,63 millimètre carré, c'est-à-dire correspondant à un fil de 9 dixièmes de millimètre de diamètre.

Dans toute installation comprenant des lampes à incandescence, la perte consentie en un point quelconque ne devra jamais dépasser 2 p. 100.

Tous les câbles et fils employés comme conducteurs, devront être isolés électriquement et mécaniquement.

Tout conducteur nu ou insuffisamment isolé est absolument interdit. L'isolement choisi devra être du type « supérieur », c'est-à-dire que le constructeur devra garantir au minimum 600 mégohms par kilomètre.

Les fils et câbles sous caoutchouc devront être à double couche de cette matière, l'épaisseur de l'isolant ne devra pas être inférieure à 1 millimètre pour les fils et à 2 millimètres pour les câbles. Il ne sera fait usage en aucun cas de câbles ou fils souples à conducteurs concentriques ou jumelés sous la même enveloppe de protection mécanique. Les fils et câbles souples à plusieurs conducteurs en *torsade* seront seuls admis pour les cas spéciaux où leur emploi sera indispensable.

À l'exception des fils souples, il ne sera pas admis qu'un fil ou qu'un câble, soit recouvert de matières susceptibles d'absorber ou de garder l'humidité.

Canalisations. — Les canalisations quelles qu'elles soient, doivent être choisies de telle façon que, si l'isolant d'un conducteur vient à disparaître, l'âme de ce conducteur se trouve toujours en contact avec

des substances présentant un isolement moyen et durable suffisant pour éviter un accident provenant de la mise à la terre du conducteur. Cette règle s'applique aux câbles et fils sous plomb.

Il est interdit de placer en paquets non seulement des conducteurs de polarité différente, mais encore des conducteurs de même polarité.

En cas de nécessité absolue et dûment justifiée, les conducteurs pourront se trouver côte à côte, mais protégés individuellement par une isolation supplémentaire.

Les canalisations employées à l'intérieur des maisons se divisent en deux catégories :

1° Apparentes.

2° Cachées.

L'emploi de l'une ou l'autre catégorie sera indifférent pourvu que les règles précédentes soient strictement appliquées.

1° CANALISATIONS APPARENTES. — Ces canalisations peuvent être constituées par :

a) Des moulures en bois;

b) Des isolateurs;

c) Des attaches isolantes sur parois isolantes;

d) Des tubes de caoutchouc ou toute autre substance homogène et isolante.

L'emploi de la moulure devra être adopté partout où cela sera matériellement possible, sinon on aura recours dans les parties découvertes à l'un quelconque des autres procédés, choisi judicieusement suivant les cas.

2° CANALISATIONS CACHÉES. — Ces canalisations peuvent être constituées par :

a) Des tubes métalliques doublés d'une substance isolante adhérente ou non, d'une épaisseur de 1 millimètre au minimum.

b) Des tubes en matière isolante, inattaquables à l'humidité et suffisamment résistants pour ne pas se déformer sous l'effet des chocs ou des pressions accidentels.

c) De caniveaux contenant une quelconque des canalisations de l'une ou l'autre catégorie.

Les tubes métalliques recouverts de vernis, d'émail ou d'une substance ne présentant pas une adhérence ni une épaisseur suffisantes ne seront pas tolérés, si les conducteurs qui doivent y être placés ne sont pas recouverts eux-mêmes d'une gaine isolante supplémentaire.

Toute gaine isolante supplémentaire devra déborder de quelques centimètres à la sortie des tubes, fourreaux, etc., contenant le conducteur qu'elle protège.

Aux coudes, angles, extrémités, les tubes fourreaux, etc., ne devront présenter que des surfaces arrondies et incapables de déchirer l'isolant d'un conducteur y appuyant trop fortement.

Les canalisations cachées devront être établies de telle façon que l'eau ou l'humidité n'y aient jamais accès, ou en puissent être facilement et rapidement éliminées.

Elles devront permettre à tous moments, l'entretien ou le changement des conducteurs qu'elles contiennent.

Mouluures. — La moulure devra être en bois dur et bien sec. Elle devra adhérer solidement à la paroi sur laquelle elle est posée, ne présenter aucune discontinuité dans les raccords, courbes, angles, etc.

Le couvercle sera posé avec le plus grand soin et ne comprimera pas les câbles ou les fils qui doivent être libres dans leurs rainures et n'être jamais

retenus dans celles-ci par des pointes ou crochets.

Aux angles vifs, il devra être réservé une certaine courbure aux fils afin d'éviter tout déchirement de l'isolant ou une cassure du cuivre. Dans certains cas, il peut être exigé que les couvercles des moulures soient vissés.

Dans les caves ou les endroits exposés à l'air libre et à l'humidité, les moulures seront posées à une certaine distance des murs sur des taquets isolants; elles seront elles-mêmes imprégnées intérieurement et extérieurement de substances résistant à l'humidité et, si possible, non combustibles.

Elles seront, s'il y a lieu, protégées contre la pluie, les fuites possibles ou les condensations abondantes par un auvent en zinc qui ne devra pas les toucher.

Attaches des fils. — Les attaches des fils apparents sur parois isolantes ne devront pas être constituées par des fils *métalliques*, pas plus que par des *cavaliers* ou des crochets isolés ou non. On se servira de petits isolateurs, de fils non métalliques, de taquets, etc., de substances quelconques isolantes.

Les canalisations devront être autant que possible éloignées de toutes charpentes métalliques, des conduites d'eau, de gaz, d'acoustique, de chauffage, des fils de sonnerie, etc.; en un mot, de toutes matières susceptibles de créer une dérivation inopportune et dangereuse.

Aux points de croisement ou de rapprochement inévitables avec ces parties, on devra interposer entre elles et les canalisations des substances isolantes supplémentaires; de plus, on ménagera un espace libre de 1 centimètre au minimum chaque fois que cela sera possible.

Raccordements et épissures. — Les mises à nu des âmes des conducteurs se feront en enlevant par échelons de quelques millimètres de longueur les couches successives de protection mécanique et électrique de telle façon que les couches de protection mécanique se trouvent franchement en retrait sur les couches isolantes dont la dernière seule sera en contact avec l'âme

On agira de la sorte pour tous les raccordements et principalement pour les épissures. La confection des épissures après dénudation des conducteurs par échelons, se fera avec le plus grand soin. Les parties métalliques à mettre en contact seront au préalable soigneusement nettoyées et décapés.

L'épissure devra assurer un contact électrique parfait ainsi qu'une liaison mécanique robuste entre les conducteurs assemblés suivant les règles usuelles (voir page 140). L'épissure faite, on la soudera à la résine et non avec des acides susceptibles d'altérer l'isolant.

Enfin, le tout sera recouvert par couches successives, régulières et débordantes sur les échelons, de matières isolantes de même nature ou de même valeur que l'isolant du conducteur.

Les épissures de conducteurs souples entre eux ou avec des conducteurs rigides devront être évitées. Les raccordements devront se faire par l'intermédiaire de points d'attaches à serrage par vis, un coupe-circuit par exemple.

Appareillage. — Dans tout appareil électrique quel qu'il soit, les parties destinées à recevoir les conducteurs y aboutissant devront permettre un raccordement robuste et facile.

Les pièces de serrage devront en principe assurer une surface de contact égale au minimum à

quatre fois la section du conducteur y aboutissant et à dix fois cette section s'il s'agit de lames ou de fils de plomb.

Le serrage devra maintenir énergiquement les extrémités de conducteurs sous les parties métalliques formant pression et ne pas permettre que sous l'effort de cette pression aucune partie des conducteurs déborde ou puisse échapper..

Le serrage obtenu ne devra plus pouvoir se modifier sous l'influence des vibrations extérieures.

Il ne faut pas oublier que les défauts de lumière (sauts, baisse d'intensité, etc.), proviennent très fréquemment du manque de serrage des fils dans les appareils. Ce défaut provoque naturellement des échauffements nuisibles et susceptibles de causer des accidents graves.

Toutes les pièces métalliques recevant le courant dans n'importe quel appareil devront être montés sur des socles en matière isolante ininflammable et non susceptibles d'absorber et de garder l'humidité.

Le bois et l'ardoise sont notamment absolument prohibés.

Tout appareil devra être préservé par un couvercle s'adaptant sur son socle.

Les couvercles métalliques sont interdits. On ne devra pas employer un appareil dans lequel une pièce métallique recevant le courant fera saillie hors de l'enveloppe, soit pour fixer le couvercle, soit pour toute autre cause,

Entre les appareils ou tableaux et les parois les supportant, il devra y avoir interposition de matière isolante, à moins qu'ils ne soient écartés de ces parois.

Les interrupteurs doivent être à rupture brusque et

ne doivent pas s'échauffer par le passage prolongé du courant. Ces appareils doivent être disposés de telle façon qu'ils ne puissent rester dans une position intermédiaire entre fermé et ouvert.

Leur construction sera telle que les pièces fixes et mobiles devront au moment du contact, adhérer énergiquement entre elles et sur toute leur surface et ne pas s'altérer à la rupture sous l'action de l'étincelle.

L'axe, ainsi que les pivots ne devront pas servir pour le passage du courant, enfin les poignées de toutes les pièces métalliques découvertes y attendant ne pourront à aucun moment être en contact avec le courant passant dans l'appareil.

Coupe-circuits. — Les fils fusibles des coupe-circuits devront être soigneusement enfermés, et mis dans l'impossibilité de se trouver en contact ou à proximité de matières inflammables.

Les appareils les contenant ne devront pas être masqués; ils seront, au contraire, très visibles et accessibles pour permettre commodément le remplacement des fils fusibles.

La fusion des plombs à l'intérieur du coupe-circuit ne doit pas pouvoir entraîner l'amorçage d'un arc en court-circuit entre les bornes d'arrivée du courant.

Les fils fusibles devront être séparés par des cloisons aussi hautes que le fond du couvercle, leur serrage devra être complètement indépendant des pièces de serrage des conducteurs.

Autant que possible, les plombs fusibles devront être soudés à des pièces de cuivre pour préserver le plomb contre l'écrasement dû au serrage.

En tous cas, le serrage des fils ou lames de plomb ne devra s'exercer que par l'intermédiaire de pla-

quettes de plomb ou de rondelles de cuivre interposées entre la pièce de serrage et le plomb.

La longueur des fusibles sera suffisante pour éviter qu'aucun arc ne subsiste au moment de leur fonctionnement, leur section devra être calculée de telle façon qu'il y ait fusion pour une surcharge de 50 p. 100 du courant prévu.

En général, on admet que les plombs peuvent supporter 8 ampères par millimètre carré et fondent à 13 ampères par millimètre carré (alliages de plomb, bismuth et antimoine).

Dans les prises de courant, rosaces de plafond et tous appareils de raccordement, les attaches électriques des fils devront être à l'abri de toute traction mécanique normale ou accidentelle exercée sur les fils ou câbles y attenant.

S'il doit y avoir effort de traction, par exemple, dans le cas de suspension d'une lampe et de ses accessoires, cet effort devra s'exercer sur les conducteurs au point de sortie de l'enveloppe protégeant l'appareil, sans que cette traction puisse à aucun moment altérer l'isolant du fil au point de serrage.

Il est toutefois recommandé de ne rien faire supporter par les fils d'alimentation.

Tous les appareils d'éclairage, de force motrice, de chauffage électrique, etc., devront être isolés électriquement de leur point d'attache ou de leur support.

Les bélières isolantes des lustres devront être placées en haut des chaînes de suspension, les douilles devront être isolées de l'appareil les supportant.

Les appareils mixtes à gaz et à électricité sont en général à éviter; sont interdits, formellement, ceux où la flamme du gaz se trouve au-dessous des bras de suspension supportant les fils.

Si l'on doit faire usage d'un appareil mixte, celui-ci devra être isolé électriquement de la conduite du gaz ainsi que de la paroi. Dans tous les appareils quels que soient, le montage des fils à l'extérieur ou leur passage à l'intérieur devra être très soigné pour ménager l'isolant des conducteurs.

Dans le montage des fils à l'extérieur des appareils, on doit proscrire pour leur fixation, l'emploi de fils ou de pattes métalliques.

Distribution. — Le compteur est posé par la Société exploitante dans un endroit désigné, d'accord avec les intéressés.

Le compteur devra être placé à hauteur d'homme dans un endroit sec, l'entrepreneur installera son tableau de distribution immédiatement après le compteur.

Lorsque l'installation est alimentée par un réseau à plusieurs fils (3 fils ou 5 fils) on admet que jusqu'à 20 ampères la distribution est alimentée par un seul circuit; au départ ce circuit est commandé par un interrupteur bipolaire puis par un coupe-circuit bipolaire également.

Si l'importance de l'installation nécessite des courants d'une intensité supérieure à 20 ampères sans en excéder 40, la distribution se fera sur deux circuits équilibrés, jusqu'à 60 ampères on fera 3 circuits, au-delà, la distribution se fera sur quatre circuits équilibrés.

Dans tous les cas chacun des circuits devra être muni d'un interrupteur et d'un coupe-circuit bipolaires et être totalement indépendant des autres circuits.

Cette division en circuits multiples s'obtient généralement par l'intermédiaire d'un tableau spécial appelé *grille* fourni par la Société d'éclairage.

Si l'installation comporte des circuits d'éclairage sous 220, 330 ou 440 volts, chacun de ces circuits sera commandé par un interrupteur et un coupe-circuit bipolaires appropriés à la tension qu'ils reçoivent.

D'une façon générale, tout conducteur partant du compteur ou des appareils spéciaux fournis et installés par la Compagnie d'électricité devra être muni d'un interrupteur et d'un coupe-circuit.

La distribution du courant au départ du tableau initial devra se faire à l'aide de conducteurs d'une section calculée d'après les données ci-dessus.

A chaque changement de section, chaque conducteur devra être commandé par un coupe-circuit.

Toute dérivation devra être munie d'un coupe-circuit protégeant chacun de ses conducteurs, ce coupe-circuit sera placé à la naissance de la dérivation.

Si des lampes indépendantes peuvent être groupées sur une seule dérivation, il faudra faire en sorte que ce groupe n'excède pas cinq à six lampes.

Bien entendu, toute dérivation ne commandant qu'une seule lampe ou un nombre inférieur à six devra être protégée par un coupe-circuit.

Il y aura avantage à réunir les coupe-circuits par groupes en des endroits facilement accessibles en indiquant par une étiquette leur affectation ainsi que le nombre de lampes qu'ils desservent.

Lampes à arc. — Les lampes à arc à feu nu ne sont pas tolérées; elles devront être protégées par un globe, de façon à ne laisser passer ni flamme, ni étincelle, le globe sera grillagé. On devra isoler avec soin leur point de suspension et elles seront autant que possible protégées contre l'eau et l'humidité.

Les garnitures et les grillages des globes seront

isolés de la masse des lampes, même lorsque le courant ne passera pas par le corps de la lampe.

Tout circuit d'arc sera protégé par un coupe-circuit bipolaire.

Rhéostats. — Les rhéostats doivent être montés sur des matières ininflammables; leur emplacement sera choisi de telle façon qu'il y ait impossibilité d'accident en cas d'échauffement anormal. Ils seront écartés des parois les supportant, et on aura soin de ne pas les enfermer dans des espaces clos ou mal aérés.

Moteurs. — Sur les réseaux à courant continu à plusieurs fils, les moteurs électriques jusqu'à 1 cheval pourront être alimentés sous 110 volts; au-dessus de 1 cheval; jusqu'à 2 chevaux, il ne sera plus admis que des moteurs marchant à 220 volts; au-dessus de 2 chevaux, tous les moteurs devront marcher à 440 volts.

Le courant nécessaire à l'excitation pourra être fourni à 110 volts pour n'importe quelle puissance avec pôle commun sur un des extrêmes.

Les moteurs devront être isolés de la terre ainsi que des transmissions, la manœuvre de mise en marche ne devra apporter aucune perturbation sur le réseau.

A l'arrêt, la manœuvre sera telle que le courant sera coupé sur tous les conducteurs amenant le courant, les rhéostats de manœuvre devront être à rappel automatique sur le plot d'arrêt dans tous les cas d'interruption de courant.

Si le compteur n'est pas à proximité des moteurs, ce qui est très fréquent pour les ascenseurs, il devra être installé des interrupteurs coupant le courant sur tous les conducteurs immédiatement après le compteur.

Pour le cas d'une tension de 440 volts, on devra

munir l'installation d'interrupteurs unipolaires, séparés et à grande rupture, sur chaque conducteur, même sur celui de l'excitation si celle-ci est à 110 volts. Les coupe-circuits devront être aussi unipolaires, séparés et placés sur chaque conducteur. La longueur du plomb fusible dans ces appareils ne devra jamais être inférieure à six centimètres.

Toute la canalisation nécessaire au raccordement du compteur avec les interrupteurs et moteurs est à la charge de l'abonné, il sera exigé pour chaque moteur, y compris ses appareils de manœuvre et ses conducteurs d'alimentation, un isolement minimum de 500.000 ohms.

Appareils de chauffage. — Les appareils de chauffage devront être parfaitement isolés par leurs supports, et maintenus à distance de toutes substances inflammables.

Si le passage du courant ne se manifeste pas d'une façon apparente, on devra les munir d'une lampe témoin, ce qui évitera de les laisser en circuit par inadvertance.

Sur les réseaux à plusieurs fils (3 fils et 5 fils) on ne devra pas prendre sur un seul circuit à 110 volts un courant de chauffage d'une intensité supérieure à 20 ampères; pour des débits supérieurs à 20 ampères, on se conformera à ce qui a été indiqué pour les moteurs.

Accumulateurs. — Pour la recharge des accumulateurs, notamment ceux des voitures électromobiles, on ne devra pas charger à un régime dépassant 20 ampères sous 110 volts; quand l'intensité du courant de charge sera supérieure à 20 ampères, on devra installer des groupes transformateurs constitués par un moteur alimenté sous 440 volts actionnant une dynamo génératrice de la puissance voulue.

Dans le cas de postes de charge ordinaires ne demandant pas plus de 20 ampères sous 110 volts, on devra installer un tableau comprenant :

1° Un interrupteur et un coupe-circuit bipolaires (qui seront placés dans cet ordre à l'arrivée du courant) ;

2° Un disjoncteur à maxima pour 20 ampères ;

3° Un disjoncteur à minima ;

4° Un rhéostat (qui pourra être combiné avec les appareils précédents) ;

5° Un ampèremètre ;

6° Un voltmètre avec commutateur à deux directions permettant de mesurer la tension du réseau ou celle de la batterie ;

7° Une lampe-témoin.

Les batteries en charge devront être parfaitement isolées par leurs supports.

Appareils électriques pour services médicaux, laboratoires, etc. — Les appareils destinés à l'application du courant électrique dans les traitements médicaux devront présenter toute sécurité.

Pour le cas de l'application directe du courant du réseau, on recommande expressément d'isoler la personne soumise au traitement par courant électrique de toutes conduites et de toutes parties métalliques en relation directe avec la terre.

Il est en tous cas préférable de ne faire usage que de courants secondaires provenant de batteries d'accumulateurs ou de petits transformateurs,

Tous les appareils devront être isolés par leurs supports, il est prescrit de placer une lampe témoin au point de départ des fils alimentant les appareils d'utilisation quels qu'ils soient.

Recommandations spéciales. — Conformément au cahier des charges de la ville de Paris, le matériel

tout entier, y compris les fils électriques et les lampes à incandescence sera fourni par des maisons françaises et fabriqué en France. Il reste entendu que les prescriptions ci-dessus ne diminuent en rien la responsabilité de l'entrepreneur, notamment en ce qui concerne les accidents, pertes ou avaries pouvant résulter de l'exécution de ses travaux.

CHAPITRE VI

Recettes diverses

Moyen de reconnaître la nature d'un courant.

— Lorsqu'on se trouve en présence d'une canalisation ou d'une installation électrique qui ne possède que des lampes électriques à incandescence comme c'est souvent le cas, il peut être intéressant de savoir si le courant qui l'alimente est *continu* ou *alternatif*.

On pourra utiliser le procédé suivant très simple, publié par l'auteur dans l'*Industrie Electrique*.

On approche un aimant du filament de la lampe à incandescence que l'on a pris la précaution d'allumer.

Si le courant qui l'alimente est *continu*, on verra le filament *s'infléchir* chaque fois que l'on approchera l'aimant; c'est le phénomène bien connu de l'attraction d'un courant par un aimant.

Au contraire, si le courant est *alternatif*, on verra le filament *vibrer* et donner l'impression d'une série de filaments placés côte à côte comme les feuillets d'un livre.

La différence entre l'effet produit dans les deux cas est suffisante pour ne donner lieu à aucune hésitation.

Reconnaître les pôles d'une source d'énergie électrique à courant continu. — Il est souvent nécessaire de reconnaître le fil positif et le fil négatif d'une canalisation, ne serait-ce, par exemple, que pour charger des accumulateurs.

Sans parler des indicateurs de pôle que l'on trouve dans le commerce et qui donnent tout de suite l'indication de la polarité des fils auxquels on les relie, nous mentionnerons plusieurs procédés très simples, à la portée de tout le monde.

1° PAR L'ÉLECTROLYSE. — On prend un vase en verre, verre à boire, par exemple, que l'on remplit d'eau légèrement acidulée ou plus simplement d'eau salée avec du sel de cuisine ordinaire.

Si on fait plonger les deux fils dénudés de la canalisation dans l'eau du verre, on voit aussitôt apparaître un dégagement de fines petites bulles autour de chaque fil. On observe avec un peu d'attention un dégagement plus abondant sur l'un des fils; ce fil là est le négatif.

On peut aussi terminer les fils de la canalisation par des fils de plomb que l'on fait plonger dans l'eau acidulée, un des fils ne tarde pas à noircir, tandis qu'un abondant dégagement de gaz se produit sur l'autre. Le fil qui noircit correspond au pôle *positif*, tandis que celui où le dégagement de gaz est très abondant est le *négatif*.

Enfin, on trouve dans le commerce des papiers *indicateurs de pôle* qui permettent en les mouillant et en les posant sur les fils à reconnaître de distinguer le négatif (le pôle négatif fait sur ce papier une tache rouge).

D'autres fois, c'est un tube contenant un liquide que l'on relie par deux bornes aux fils à reconnaître; ici encore le liquide rougit au pôle négatif.

Il faut avoir bien soin de ne pas laisser ces tubes trop longtemps sur le courant, car ils peuvent éclater si le dégagement gazeux est trop abondant ou trop rapide.

La composition du liquide entrant dans la confec-

tion de ces tubes est la même que celle de celui dont on imprègne les papiers; elle est la suivante :

Glycérine	50 grammes
Salpêtre (Azotate de potasse).	3 —
Eau	20 —
Phtaléine du phénol	0.5 —
Alcool	10 —

Signalons un dernier moyen, le plus simple et certainement le moins coûteux, dû à l'auteur qui l'a signalé dans *l'Industrie Electrique*.

Prendre tout simplement du papier bleu au ferroproussiade ayant servi au tirage de dessins, comme on en trouve dans tous les ateliers de construction (dessins à traits blancs sur fond bleu). Mouiller ce papier, attendre quelques instants que l'humidité ait pénétré, puis l'appliquer sur les deux pôles à reconnaître (pistons d'une douille, fils, etc.).

Le pôle négatif laisse sur ce papier une trace *blanche* qui se détache tout de suite sur le fond bleu.

Pour tous ces essais, les plus grandes précautions doivent être prises en vue d'éviter de faire toucher les fils amenant le courant dont on veut reconnaître les pôles.

On risque en effet, si le courant est fourni par une batterie d'accumulateurs ou une dynamo un peu puissante, de produire un court-circuit et de se brûler grièvement.

Il sera bon de mettre un coupe-circuit à fil fusible ou un disjoncteur sur le trajet des conducteurs.

Un voltmètre à courant continu peut également être utilisé pour reconnaître les pôles, pourvu qu'il soit à *aimant*. Lorsque ces appareils dévient normalement, le positif est à gauche et le négatif à droite

en regardant l'instrument. En d'autres termes, le courant *pousse l'aiguille*, cette façon de parler n'est qu'une image qui veut dire que le courant allant du pôle positif au pôle négatif entraîne l'aiguille dans cette direction. En observant le sens de la déviation, on en déduira le sens du passage du courant.

191

un grand nombre de personnes. Les uns ont
été tués, les autres ont été blessés. Les uns
ont été enlevés, les autres ont été libérés.
Les uns ont été envoyés dans les camps,
les autres ont été envoyés dans les
concentration. Les uns ont été
exécutés, les autres ont été
libérés. Les uns ont été
envoyés dans les camps, les autres
ont été libérés. Les uns ont été
exécutés, les autres ont été
libérés.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

TRANSFORMATEURS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE I. — Transformateurs de courant alternatif.

But des transformateurs.	1
Principe	2
Loi de Lenz	4
Rôle du fer dans les transformateurs.	8
Constitution des transformateurs industriels.	9
Construction pratique des transformateurs	12
Données sur les transformateurs modernes	16
Consommation à vide des transformateurs.	18

CHAPITRE II. — Montage des transformateurs.

Dispositifs de sécurité.	22
Groupement des circuits des transformateurs.	25
Réglage de la tension.	30
Survolteurs pour courants triphasés	32

CHAPITRE III. — Transformateurs divers.

Transformateurs de phase.	33
Courants hexaphasés.	34
Transformation des courants alternatifs simples en courants diphasés.	35

CHAPITRE IV. — **Transformation des courants
alternatifs en courant continu.**

Le moteur-générateur	37
La commutatrice.	38
Conditions de fonctionnement des commutatrices	39
Réglage de la tension d'une commutatrice.	45
Démarrage des commutatrices	45
Incidents qui peuvent se présenter	47

DEUXIÈME PARTIE

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

CHAPITRE I. — **Principe des appareils de mesure.**

Principe	49
Appareils à fer doux.	50
Appareils à aimants.	52
Shunts.	54
Appareils électrodynamiques.	57
— thermiques.	58
— électrostatiques.	59
— à champ tournant.	60

CHAPITRE II. — **Ampèremètres.**

Étalonnage d'un ampèremètre	64
---------------------------------------	----

CHAPITRE III. — **Voltmètres.**

Étalonnage d'un voltmètre.	69
------------------------------------	----

CHAPITRE IV. — **Wattmètres.**

Montage d'un wattmètre.	74
Étalonnage d'un wattmètre.	77

CHAPITRE V. — **Compteurs électriques.**

Compteurs de quantité d'électricité.	80
— d'énergie.	81
Lecture des compteurs.	85

CHAPITRE VI. — **Ohmmètres.**

Pont de Wheatstone.	90
Ohmmètre Chauvin et Arnoux.	91
Ohmmètres à lecture directe.	94
Mesure des isolements par la méthode du voltmètre	96
Mesure de la valeur de l'isolement d'un réseau en marche.	98
Indicateurs de terre.	99
Enregistreurs.	100

TROISIÈME PARTIE

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

CHAPITRE I. — **Généralités.**

Généralités.	103
Les contacts dans les interrupteurs.	105
Contacts plats.	106
Choix du métal.	107
Contacts à mercure.	109
Socles des appareils.	110
Interrupteurs.	111
Interrupteurs-inverseurs.	118
— automatiques.	120
Disjoncteurs.	121
Disjoncteurs à renclenchement empêché.	124
Disjoncteurs d'excitation de dynamos.	128

Conjoncteurs-disjoncteurs	129
Interrupteurs manœuvrables à distance ou contacteurs	130
Coupe-circuits	131
Parafoudres	134
CHAPITRE II. — Jonction des fils.	
Épissure simple	139
Épissure en T	140
Boîtes de jonction	142
Soudures	142

QUATRIÈME PARTIE

INSTALLATIONS INTÉRIEURES

CHAPITRE I. — Branchements.

Branchement d'abonné	146
--------------------------------	-----

CHAPITRE II. — Installation de l'éclairage électrique dans un appartement.

Nombre de lampes	151
Choix du diamètre des fils	154
Pose des fils	157
Installations sous moulures	157
Tamponnage	158
Percements	159
Tuyaux d'eau ou de gaz	160
Montage des fils sur les appareils à gaz	161
Traversée des plafonds, lustres, etc.	162
Installations avec tubes isolants	164
Installations sur isolateurs	165

CHAPITRE III. — **Appareillage intérieur.**

Interrupteurs.	167
Coupe-circuits.	168
Prises de courant.	169
Douilles	170

CHAPITRE IV. — **Installations extérieures.**

Pose.	174
Entrée.	175
Installations de caves et de locaux humides.	176
Installations d'usines.	180

CHAPITRE V. — **Conditions imposées à Paris pour les installations électriques.**

Isolement.	183
Conducteurs.	183
Canalisation.	184
Épissures.	187
Appareillage.	188
Coupe-circuits.	190
Distribution.	192
Lampes à arc.	193
Rhéostats.	193
Moteurs.	194
Appareils de chauffage.	195
Accumulateurs.	195
Appareils médicaux.	196
Recommandations spéciales.	196

CHAPITRE VI. — **Recettes diverses.**

Moyen de reconnaître la nature d'un courant.	197
Reconnaître les pôles d'une source d'énergie électrique à courant continu.	197

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

A			
Accumulateurs (Installations d')	195	Champ tournant (Appareils à)	60
Aimants (Appareils à)	52	Chauvin et Arnoux (Appareils)	53, 91
Ampèremètres	62	Cloches en porcelaine	174
Appareils à fer doux	50	Colonne montante	148
Appareils de mesure (principe)	49	Commutatrice	38
Appareils (Socles d')	110	Commutatrice (Réglage d'une)	45
Appareils de chauffage	195	Compteurs électriques	80
Appareillage intérieur	167	— de quantité	80
Appartement (Installation dans un)	151	— d'énergie	81
Arsonval (Appareils d')	54	Conjoncteur-disjoncteur	129
Automatiques (Interrup-teurs)	120	Contacts	105, 106
B		Contacteurs	130
Bergmann (tubes)	182	Convertisseur	37
Boîtes de jonction	142	Consommation à vide des transformateurs	18
Bornes	103	Cosses	104
Branchement	146	Coupe-circuits	131, 168, 175
C		Courant (Moyen de reconnaître un)	197
Cadre mobile	53	Courants diphasés	35
Canalisations	184	Courants triphasés	26
Cardew (Dispositif)	23	Courants hexaphasés	34
Carpentier (Ohmmètre)	95	Courants de Foucault	8
		D	
		Décrochage des commutatrices	47

Démarrage des commutatrices	45
Diamètre des fils	154
Disjoncteurs	121 à 128
Dispositifs de sécurité	22
Douilles pour lampes	170

E

Electrodynamiques (Appareils)	57
Electrolyse des fils	178
Electromagnétiques (Appareils)	51
Electrostatiques (Appareils)	59
Entrée (Isolateurs d')	176
Etalonnage d'un ampère-mètre	64
Etalonnage d'un volt-mètre	70
Etalonnage d'un watt-mètre	77
Etalonnage des compteurs	86
Enregistreurs	79
Epissures	138, 187
Etoile (Montage en)	27

F

Facteur de puissance	16
Fer (Rôle du)	8
Fils (diamètre des)	154
Fonctionnement des commutatrices	39
Foucault (Courants de)	8
Fuites (Transformateurs à)	11
Fusibles (Plombs)	133

G

Gaulard	10
Groupement des transformateurs	25

H

Hexaphasés (Courants)	34
Hexaphasée (Commutatrice)	43, 48
Hystérésis	9

I

Incidents avec les commutatrices	47
Indicateurs de terre	99
Installations électriques à Paris	183
Installations intérieures	145
— extérieures	173
Interrupteurs à rupture brusquée	115
Interrupteurs bipolaires	148
Interrupteurs pour lampes	167
Inverseurs	117, 118
Isolateurs (Installations avec)	164

L

Lampes à arc	193
Lampes étanches	179
Lecture des compteurs	85
Locaux humides (Installations dans)	176
Loi de Lenz	4
Lustres	162

M

Machines-outils (Installations sur)	182
Mercure (Contacts à)	109
Mesure des isolements.	95, 96
Montage des transformateurs	21
Montage d'un ampèremètre.	55
Montage d'un voltmètre.	68
Montage d'un ohmmètre.	92
Montage d'un wattmètre.	74
Montage des fils sur appareils à gaz.	161
Montage d'un parafoudre	136
Moteurs (Branchements des).	194
Moteur-générateur.	37
Moulure (Installations sous).	157

O

Ohmmètres	90
Ohmmètres Chauvin et Arnoux	91
Ohmmètres Carpentier.	95

P

Parafoudres.	134
Pare-étincelles.	112
Percements	159
Phase (Transformateurs de).	33
Pipe (Isolateur à)	176
Pistons	172
Plombs fusibles	133

Plafonds (Passage sur).	163
Pôles (Indicateurs de)	197
Pompage des commutatrices.	47
Pont de Wheatstone	90
Poulies en porcelaine	180
Primaire	4
Prises de courant	169
Puissance des transformateurs.	16

R

Raccordements ou épissures	138, 187
Raccord isolant	161
Réactance.	16
Réglage de la tension 30,	45
Rendement des transformateurs	16
Résine	144
Rhéostats	193
Rupture brusque (Interrupteurs à)	113

S

Secondaire	4
Shunts	54
Socles des appareils	110
Soudures	142
Supports de lampes	170
Survolteurs. 30,	32

T

Tamponnage	158
Taquets en porcelaine	180
Thermiques (Appareils).	58
Thomson-Houston (Dispositif)	24

Tournant (Appareils à champ)	60	Tuyaux d'eau ou de gaz.	160
Transformateurs (But des)	1	U V W	
Transformateurs (Principe des)	2	Usines (Installations d').	180
Transformateurs (de phase)	33	Ventilation des transformateurs	15
Triangle (Montage en) .	27	Vernis à la gomme laque.	14
Tripolaire (Interrupteur).	114	Voltmètre (Méthode du).	93
Tubes isolants (Installation avec).	164	Voltmètres	66
		Wattmètres	73
		Wheatstone (Pont de) .	90

