

L'ÉLECTRICITÉ

ULTIMHEAT
UNIVERSITY MUSEUM

A LA VILLE A LA CAMPAGNE EN AUTO

par

MARCEL BOLL



LAROUSSE-PARIS-VI^e

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR
A LA MÊME LIBRAIRIE

Qu'est-ce que... le hasard? l'énergie? le vide? la chaleur? la lumière? l'électricité? le son? l'affinité? Un volume in-8° (format 13,5 x 20 cm.), 152 gravures.

Pour connaître... la relativité, l'analogie, l'inertie, la gravitation, le choc, l'incandescence, la luminescence, la fréquence. Un volume in-8° (f^o 13,5 x 20 cm.), 145 gravures.

Idées nouvelles sur... l'électron, les piles, les dynamos, l'alternatif, l'induction, la radio, la télévision, les ultrasons. Un volume in-8° (f^o 13,5 x 20 cm.), 180 gravures.

La chance et les jeux de hasard. (Loterie, boule, roulettes, baccara, trente et quarante, dés...; bridge, poker, belote, écarté, piquet, manille...) Un volume in-8° (f^o 13,5 x 20 cm.), 155 gravures, 108 tableaux, index.

La chimie au laboratoire et à l'usine, dans la nature et dans la vie. Un volume in-8° (f^o 13,5 x 20 cm.), 250 gravures, 20 tableaux, 2 index.

Les deux infinis. (Galaxies, étoiles, planètes, micelles, réseaux, noyaux, neutrons, photons.) Un volume in-8° (f^o 13,5 x 20 cm.), 162 gravures, 42 tableaux, index.

Le mystère des nombres et des formes. (Nombres réels et complexes, formes naturelles et artificielles, diagrammes descriptifs du monde matériel et des faits humains.) Un volume in-8° (f^o 13,5 x 20), 354 gravures, index.

En collaboration :

La Science, ses progrès, ses applications, sous la direction de Georges URBAIN, membre de l'Institut, et de Marcel BOLL. Deux volumes grand in-4° (*Collection in-4° Larousse*, f^o 32 x 25 cm.), 2 360 héliogravures, 12 hors-texte en couleurs, index contenant 20 000 références.

L'ÉLECTRICITÉ



A LA VILLE,

A LA CAMPAGNE,

EN AUTO

par MARCEL BOLL

Agrégé de l'Université, Docteur ès sciences,
Professeur d'électricité appliquée
à l'École des Hautes Études Commerciales.



174 GRAVURES
2 PLANCHES HORS TEXTE
(3 PHOTOGRAPHIES)
INDEX

LIBRAIRIE LAROUSSE — PARIS (VI^e)

13 à 21, Rue Montparnasse, et Boulevard Raspail, 114

TOUS DROITS DE REPRODUCTION,
DE TRADUCTION, D'ADAPTATION ET D'EXÉCUTION
RÉSERVÉS POUR TOUS PAYS.

Copyright 1932
BY AUGÉ, GILLON, HOLLIER-LAROUSSE, MOREAU ET C^{ie}
(Librairie Larousse), Paris.



INTRODUCTION

DEPUIS le début de notre siècle, l'électricité s'est progressivement incorporée à la vie quotidienne. Cependant il n'existe, à vrai dire, aucun petit ouvrage dont la lecture soit accessible au grand public — citadin et rural — et qui lui fasse comprendre ce qu'il peut attendre de cet intermédiaire infiniment précieux. La plupart des exposés actuels, quand ils sont de lecture facile, manquent de précision ou négligent l'intérêt bien entendu du lecteur.

La plupart des problèmes trouvent une seule et même solution à la ville et à la campagne : c'est le cas pour l'éclairage, le chauffage, la signalisation, le téléphone et les divertissements. Au contraire, quand les applications reposent sur l'emploi d'un moteur électrique, les unes sont générales, les autres intéressent plus spécialement l'agriculteur (électropompes, transformation des produits du sol, labourage électrique ...).

Par ailleurs, l'extension de l'automobile nous a conduit à donner de brèves indications sur son équipement électrique. Enfin, il nous a fallu dire quelques mots des stations électriques privées, quoique le progrès de l'électrification en diminue de jour en jour l'importance.

Quelques hors-texte, mais surtout un grand nombre de figures très simples, font connaître le principe et le montage de tous les appareils usuels, et précisent à chaque instant les dangers que de fausses manœuvres peuvent entraîner. Un index alphabétique, contenant 1 300 références, permet une documentation immédiate sur n'importe quel point particulier : il constitue un véritable dictionnaire de l'électricité pratique.

Nous nous adressons ici à l'usager moyen, qui recourt à des techniciens compétents pour la pose des lignes et des appareils, mais qui doit savoir utiliser son installation avec le maximum de sécurité et de rendement; qui doit connaître les améliorations réalisables; qui doit apprendre à remédier le plus rapidement possible aux pannes et aux dérangements éventuels.

Il va de soi que cet ouvrage ne s'occupe que de prendre la défense de l'usager et de favoriser son initiation. Or, il s'est trouvé que cette défense et cette initiation coïncidaient avec l'intérêt bien entendu des producteurs d'énergie électrique.

C'est ainsi que la Compagnie Parisienne de Distribution d'Électricité tint à prévenir ses abonnés lorsque parut notre première édition :

« Vous tous qui appréciez l'emploi de l'électricité sous ses formes les plus diverses, vous consulterez avec fruit l'ouvrage que voici. Vous y trouverez, en même temps que le rappel de tous les services que peut rendre l'électricité, une foule de renseignements pratiques intéressants, exposés sous une forme particulièrement claire. »

L'édition actuelle a été complètement remaniée, pour être maintenue au courant des derniers progrès techniques.

MARCEL BOLL.

Il n'y a pas là un simple hasard, et il faut en chercher la raison profonde dans la constitution même des métaux, tels que le *cuivre* et l'*aluminium*.

2. Quelques mots sur la structure des métaux. — Ce que nous allons dire ici — mais nous n'y insisterons pas — est assez abstrait (1); nous nous en excusons auprès du lecteur, d'autant plus que nous lui demanderons de nous croire sur parole... Notre excuse est que nous ne ferons que rappeler des conceptions sur lesquelles les savants compétents se sont mis *unanimentement* d'accord et que des explications circonstanciées exigeraient, à elles seules, un ouvrage aussi développé que celui-ci (2). En outre, il faut combattre cette opinion — trop répandue chez les vulgarisateurs — qu'« on ne sait pas ce que c'est » que l'électricité, et n'est-il pas préférable de *savoir ce dont on parle* ? plutôt que de passer sous silence la nature — *bien connue*, répétons-le — de l'électricité, tout le long d'une première initiation.

Pour en revenir aux métaux, indiquons tout d'abord que la structure, que nous décrivons ici, n'est pas directement perceptible, ni au microscope, ni à l'ultramicroscope. Cette structure, qui a été élucidée par des expériences *indirectes*, souvent d'une précision inouïe, permet de comprendre l'ensemble des phénomènes électriques. L'image que nous pouvons nous faire d'un corps solide *quelconque* — métallique ou non — est celle d'un pudding, formé de deux ingrédients, le riz et les grains de raisin. Pour préciser davantage, nous dirons qu'un corps, *même simple* — tel le soufre ou le cuivre —, contient (au moins) deux constituants de dimensions très inégales : nous appellerons le plus volumineux d'entre eux *atome*, tandis que le plus petit est l'*électron*. On connaît une centaine d'atomes différents — l'atome de soufre, par exemple, est différent de l'atome de cuivre —; mais *il n'y a qu'une seule sorte d'électron*, tiré, d'ail-

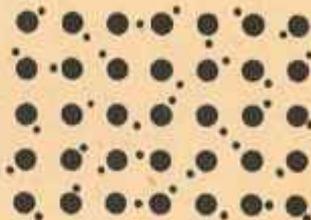
(1) Ces questions ont été déjà traitées *sans mathématique* dans notre opuscule intitulé : « Matière, électricité, radiations. » (Delagrave, édit.)

(2) Le lecteur qui possède quelques *notions d'algèbre* (équations du premier degré, représentations graphiques, définitions du sinus,...) pourra se reporter à notre petit livre : « L'Électron et les applications de l'électricité. » (Albin Michel, édit.)



leurs, à un nombre colossal d'exemplaires : les électrons du soufre sont identiques aux électrons du cuivre.

Voici maintenant comment on peut concevoir la différence qui sépare un corps non métallique, comme le soufre, d'un métal comme le cuivre. Pour le soufre, les électrons sont fixés irrémédiablement aux atomes, tandis qu'au contraire, dans le cuivre, les électrons sont extrêmement mobiles : ainsi, dans certaines circonstances que nous allons préciser, les petits cercles de la figure 1 peuvent, quand il s'agit d'un métal, se déplacer tout d'un bloc entre les gros cercles qui se maintiennent immobiles. Il revient au même de dire que le cuivre est un *conducteur*, alors que le soufre est un *isolant*.



3. Qu'est-ce, au fond, que le courant électrique ?

Supposons, pour simplifier (1), que nous soyons abonnés à un réseau de distribution à courant continu. Au fond, la compagnie d'électricité ou, comme on dit, le « secteur », s'est engagée à nous apporter des électrons à un bout de notre installation et à les aspirer à l'autre bout, à évacuer les électrons qui ont servi, les électrons « usés », dont nous ne saurions que faire, de même que les égouts nous débarrassent de l'eau qui vient de traverser un moteur hydraulique.

Les électrons glissent entre les atomes métalliques (fig. 1), tout comme, dans un filtre Chamberland, l'eau filtre à travers les pores de la bougie en porcelaine (fig. 2). Dans les deux cas, le mouvement est *invisible* et ne se constate que par ses effets : chaleur dégagée quand il s'agit du courant industriel, écoulement goutte à goutte de l'eau pour le filtre. Dans les deux cas, le mouvement est relativement lent : ainsi, malgré l'« hérésie »

FIG. 1. — Représentation schématique de la structure des métaux. (Grossissement, 20 000 000 de diamètres).

Les gros cercles sont les atomes qui restent sur place. Les petits cercles sont les électrons (pour être à l'échelle, ils devraient être représentés par des points imperceptibles). Le courant électrique n'est autre chose que l'entraînement d'ensemble des électrons dans les vides compris entre les atomes.

(1) Nous nous occuperons plus tard du courant alternatif. Ce que les deux sortes de « secteurs électriques » ont de commun (§ 20), c'est qu'ils nous promettent tous deux de *déplacer des électrons*.

suivant laquelle les électrons, dans un fil, se déplaceraient à raison de 300 000 kilomètres par seconde (!), la vitesse de ces électrons dépasse très rarement celle d'un homme au pas (cette vitesse peut être mesurée très exactement).

En somme, les électrons, qui, à tout moment, sont présents dans nos appareils — lampes, aspirateurs de poussière, écouteur téléphonique —, se trouvent, quand ces appareils fonctionnent, animés d'un *entraînement d'ensemble*, et c'est ce mouvement invisible qui nous éclaire, qui fait marcher le métro ou qui reproduit la voix de notre interlocuteur. On connaît l'expression populaire : « Il n'y a plus de jus, » là où les personnes distinguées diraient : « C'est une panne d'électricité. » Eh bien ! le « jus », c'est tout bonnement un écoulement, une procession d'électrons qui suivent les fils, puisque ces fils sont entourés de substances isolantes, comme l'air, la soie, le caoutchouc, la porcelaine..., c'est-à-dire telles que les électrons sont absolument incapables de s'y mouvoir.

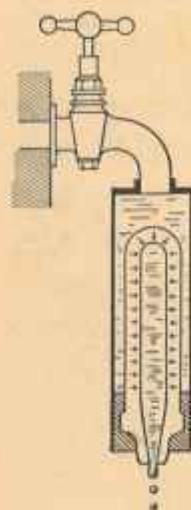


FIG. 2. — La meilleure image du courant électrique.

Les électrons glissent entre les atomes de métal tout comme l'eau filtre à travers les pores de la bougie d'un filtre Chamberland (suivant les flèches).

Toutes les applications quotidiennes, auxquelles nous venons de faire allusion, sont le fait d'électrons animés d'un mouvement uniforme ou presque uniforme. Lorsque, au contraire, ces particules infimes éprouvent de brusques accélérations ou de brusques ralentissements, il apparaît d'autres phénomènes du plus puissant intérêt : ce sont, d'une part les rayons X — la vision de l'invisible —, d'autre part la T. S. F. — le transport des manifestations de la pensée à travers l'espace —. Si l'on veut comprendre les divers retentissements de l'électricité de par le monde, il convient de se rappeler la gradation dans le rôle du cuivre, selon qu'il participe à la substance d'une casserole, d'un fil de lumière ou du cadre d'un poste de réception radiophonique : en moyenne, les électrons sont respectivement au repos, en déplacement uniforme ou en oscillations vertigineuses. Pousser les électrons le long d'un filament métallique : c'est l'éclairage par incandescence ; les secouer sur place à raison de



deux cents allers et retours dans un millième de seconde, c'est le poste d'émission de la Tour Eiffel.

4. Champ électrique et champ magnétique. — Les quelques indications qui précèdent seraient suffisantes, si les applications de l'électricité se limitaient à l'éclairage et au chauffage. Mais l'électromécanique et les télécommunications ont recours à des *aimants* (et à des électroaimants), dans lesquels les électrons jouent un rôle particulier.

Il faut tout d'abord s'efforcer de comprendre l'idée de *champ*, c'est-à-dire de portion de l'espace douée de telle ou telle propriété : l'adjectif dont on fait suivre le mot « champ » précise justement la propriété considérée. Parmi tous les champs que les savants étudient, nous nous bornerons à en mentionner deux, assez analogues et souvent coexistants :

1° Le *champ électrique*.

Qui de nous n'a pas frotté, sur la manche de son veston, un porte-plume d'ébonite ou un stylographe, pour lui faire attirer ensuite des

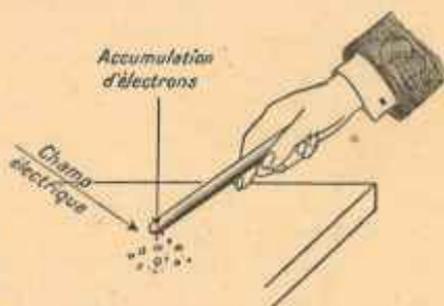


FIG. 3. — Le champ électrique.

Un bâton d'ébonite frotté est environné d'un champ électrique auquel est due l'attraction de petits bouts de papier. (Ce champ électrique provient ici d'une accumulation d'électrons sur la partie frottée et cette accumulation persiste assez longtemps, car l'ébonite est une substance isolante.)

petits bouts de papier (fig. 3) ? On dit ici que le stylo frotté est avoisiné par un « champ électrique » ;

2° Le *champ magnétique*. L'aiguille aimantée d'une boussole (fig. 4) s'immobilise dans une position fixe. Si l'on donne à la boîte protectrice des mouvements quelconques, l'aiguille tournera jusqu'à ce qu'elle reprenne toujours la même position. On dit que la Terre est entourée d'un « champ magnétique ».

Nous apercevons tout de suite une différence entre ces deux sortes de champs : le champ électrique détermine la *translation* des corps légers; le champ magnétique provoque, au contraire, la *rotation* d'une aiguille aimantée. Qui dit « champ magnétique » dit par cela même « règne de la rotation » ; aussi ne s'éton-

nera-t-on pas de l'importance du magnétisme dans les dynamos et dans les moteurs électriques, tous dotés d'organes en rotation rapide.

5. En quoi consiste le magnétisme ? — Dans toutes les circonstances, qu'il soit au repos ou animé de n'importe quel mouvement, l'électron est environné d'un champ électrique : c'est là une propriété inhérente à son existence même; et c'est parce qu'il se produit un rassemblement d'électrons sur l'ébène (fig. 3) que les bouts de papier sont soulevés.

Au contraire, pour qu'un champ magnétique apparaisse autour d'un électron, il est nécessaire que l'électron se déplace, c'est-à-dire (§ 3) qu'il y ait passage d'un courant électrique : rien n'est donc plus aisé que de produire des champs magnétiques au moyen de courants électriques.



FIG. 4. — Le champ magnétique.

L'orientation de l'aiguille de la boussole dicte l'existence d'un champ magnétique autour du globe terrestre.

De tous les champs magnétiques, le plus simple est le champ uniforme, c'est-à-dire le champ magnétique qui est identique à lui-même dans toute une portion de l'espace (1). La « bobine de self » (fig. 5), familière aux sans-filistes, — simple cylindre en carton recouvert de plusieurs couches de fil de sonnerie, — donne naissance, dans le creux ménagé à l'intérieur, à un champ magnétique uniforme : dès qu'on enverra un courant (2), une boussole, préalablement disposée dans ce creux, s'orientera suivant l'axe du cylindre. On comprend dès lors l'importance des bobines dans toute l'électrotechnique : bobines des sonneries trembleuses, bobines fixes (ou inducteurs) des moteurs électriques, bobines des écouteurs téléphoniques et des haut-parleurs.

L'électron n'est pas seulement capable d'engendrer un champ magnétique; ainsi, lorsqu'on fait agir sur lui un champ magnétique extérieur (dû, par exemple, à d'autres électrons en mouvement), le mouvement du premier électron se trouve curieu-

(1) Dans toute cette portion d'espace, une même aiguille aimantée est ramenée avec la même « énergie » dans la même orientation.

(2) C'est-à-dire dès qu'on fera circuler les électrons le long du fil.

sement *perturbé*. Pour fixer les idées, identifions l'électron avec un promeneur qui se déplace sur une plaine du Sud au Nord, et faisons agir un champ magnétique vertical, qui soit dirigé de haut en bas : si notre promeneur avait les mêmes propriétés qu'un électron, il serait poussé irrésistiblement de l'Ouest vers



FIG. 5. — Champ magnétique produit par une self.

Dès que les électrons circulent le long des spires, un champ magnétique est créé; l'aiguille aimantée d'une boussole mise à l'intérieur de la self s'oriente suivant l'axe.

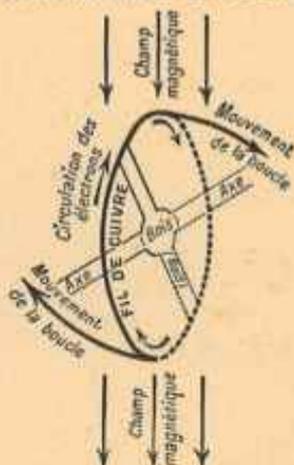


FIG. 6. — Action d'un champ magnétique sur des électrons en mouvement.

Dans la boucle de fil de cuivre, on fait circuler des électrons; on produit, en outre, un champ magnétique (la figure n'indique pas comment on s'y prend). La boucle se met à tourner suivant les flèches grasses : tel est le principe des moteurs électriques.

l'Est et sa trajectoire se trouverait incurvée par ce fait même. Telle est la raison pour laquelle une boucle de fil, parcourue par un courant électrique (fig. 6), se met à tourner entre les pièces polaires d'un inducteur : le champ magnétique est supposé vertical, le plan de la boucle se confond primitivement avec le plan du méridien (l'axe de rotation est dirigé suivant la ligne Sud-Nord) et la boucle se met à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre : tel est le principe des moteurs électriques. Le champ magnétique y est produit par des inducteurs; on emploie plusieurs boucles dont l'ensemble constitue l'induit; dans un but de simplification, la figure 6 n'indique pas par quel dispositif on envoie le courant électrique dans la boucle de fil (1).

(1) On pourra examiner, à ce sujet, les figures 122, 123 et 124.

6. Aimants et électroaimants. — Parmi les substances qui nous entourent, les corps aimantables constituent une infime exception; pratiquement, ils se ramènent au fer et à ses alliages, en particulier à l'acier, qui est du fer contenant entre 1 p. 100 et 2 p. 100 de carbone.

Commençons par expliquer en quoi le fer aimanté se distingue du fer qui ne l'est pas. La remarque (§ 5), suivant laquelle toutes les bobines produisent un champ magnétique lorsque des électrons parcourent les grandes circonférences que sont les spires successives de la bobine, conduit à l'idée que l'aimantation du fer doit, elle aussi, provenir d'électrons qui suivent des trajectoires circulaires, mais, dans ce dernier cas, les cercles sont d'une infime petitesse, quoique les effets d'ensemble soient identiques pour les barreaux aimantés et pour les bobines.

Les atomes matériels, dont nous avons signalé l'existence (gros cercles noirs de la figure 1), sont, en réalité, des êtres fort compliqués; il nous suffira d'indiquer ici qu'on a découvert, à l'intérieur de tous les atomes, des électrons qui restent continuellement attachés à l'atome et qui décrivent des trajectoires circulaires autour du centre de l'atome, à peu près comme la Terre parcourt une circonférence autour du Soleil. Dans le fer non aimanté, les plans de ces cercles (fig. 7) ont des orientations quelconques, variables d'un cercle à l'autre. Mais dès qu'on portera le morceau de fer dans un champ magnétique (fig. 8), les cercles se mettront à *basculer*, de la même façon que la boucle de fil de tout à l'heure (fig. 6) : un aimant est donc un échantillon de matière, dans lequel les trajectoires électroniques se sont disposées parallèlement, et on appelle « pôle nord » la face devant laquelle il faut se mettre pour « voir » (1) les électrons tourner dans le sens des aiguilles d'une montre (2).

(1) Ce qui, évidemment, est impossible directement.

(2) Nous pouvons décrire, sans y insister, ce qui se passe quand une couturière brandit son petit aimant en fer à cheval, pour aller dénicher une aiguille qui s'est engagée dans une rainure de sa boîte à ouvrage. Premier temps : à l'approche de l'aimant, les circonférences électroniques de l'aiguille basculent et se disposent parallèlement entre elles, parallèlement aussi aux trajectoires, qui sont préalablement orientées dans l'aimant. Deuxième temps : il y a attraction des circonférences en regard, et situées les unes dans l'aimant, les autres dans l'aiguille. L'humanité, qui connaît les aimants depuis quarante-cinq siècles, n'est arrivée que dans ces dernières années à entrevoir ce qui pouvait bien se passer lorsqu'un aimant attire un morceau de fer.



Ajoutons que, dans le fer très pur (ou fer doux), les circonférences électroniques « ont hâte » de quitter leur parallélisme dès qu'on supprime le champ magnétique extérieur : on réalise de la sorte des aimants temporaires, dont les propriétés sont mises à profit dans les électroaimants ou « électros ». Au contraire, ces mêmes orbites « se complaisent » dans leur parallélisme si le fer contient une proportion convenable de carbone, c'est-à-dire si l'on a affaire à de l'acier : c'est donc avec de l'acier qu'on fabriquera les aimants permanents. On donne le nom d'« électro polarisé » à un électroaimant qui comporte à la fois du fer doux et de l'acier.

Une dernière remarque : les considérations qui précèdent expliquent immédiatement pourquoi un aimant doit nécessairement présenter deux pôles (fig. 8), sans qu'il soit jamais possible d'isoler l'un de ces pôles. Puisque les deux magnétismes correspondent respectivement aux deux faces de circonférences infimes parcourues par des électrons, le pôle nord et le pôle sud sont comparables au recto et au verso d'une feuille de papier : il nous est interdit d'isoler du magnétisme nord (par exemple), de même qu'il est impossible de concevoir une feuille de papier sans verso...

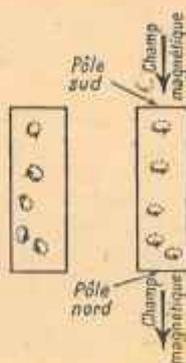


FIG. 7 et 8. — Mécanisme de l'aimantation.

Dans le fer non aimanté, les circonférences décrites sur place par les électrons ont toutes les orientations possibles. Lorsqu'on fait agir un champ magnétique, les plans de ces trajectoires s'orientent perpendiculairement à la direction du champ.

7. Analogies et différences entre l'électricité et le magnétisme. — Dans toutes les applications pratiques imaginées jusqu'à ce jour, l'électricité, c'est l'électron libre — ou, du moins, l'électron plus ou moins libéré de la matière. Dans les fils conducteurs, les électrons sont très mobiles par rapport aux atomes matériels; dans les lampes de T. S. F. et dans les cellules photoélectriques, dont les applications sont innombrables, les électrons sautent seuls à travers le vide qui sépare les pièces métalliques (1).

(1) On parvient ainsi à obtenir des électrons complètement isolés.

Une substance est *chargée d'électricité* quand elle renferme soit un excès, soit un défaut d'électrons, excès et défaut étant comptés par rapport au contenu d'électrons de la substance à l'état normal ou, comme on dit, « à l'état neutre ». L'excès d'électrons s'appelle « électricité négative »; le défaut d'électrons, « électricité positive ». Il est parfaitement loisible d'isoler une des deux espèces d'électricité : ainsi, le bâton d'ébonite frottée de la figure 3 est électrisé négativement : il présente un excès d'électrons.

Le magnétisme, au contraire, *c'est l'électron qui tourne en rond*. C'est bien là, en définitive, le caractère commun entre la bobine de self (fig. 5), où la circulation d'électrons crée un champ magnétique, et le fer aimanté (fig. 8), où toutes les circonférences électroniques sont parallèles et qui produit, lui aussi, un champ magnétique dans son voisinage.

Un aimant ne renferme, en aucune de ses parties, ni excès, ni défaut d'électrons : *il n'est donc pas électrisé*. Et rappelons que, s'il est aisé d'obtenir de l'électricité libre, on ne peut imaginer l'isolement de magnétisme libre (§ 6).

Ainsi donc, dans tout le domaine des applications, c'est l'électron qui est à l'origine de tous les phénomènes électromagnétiques : l'équivalence (au point de vue magnétique) des courants électriques et des aimants intervient constamment dans la pratique; et le magnétisme se présente comme un simple prolongement, comme une simple annexe de l'électricité (1).

(1) Le rôle général de l'électron dans les applications de l'électricité est repris dans *Idees nouvelles...* (3^e édition, pp. 7-30). L'ensemble des propriétés de l'électron est traité dans *Les deux infinis* (3^e édition, pp. 81-102 et pp. 130-147).

Chapitre II

AMPÈRES, HECTOWATTS-HEURE, VOLTS...

8. *A faits nouveaux, unités nouvelles.* — Lorsque, entre 1790 et 1799, la France dota l'humanité du *système métrique*, personne ne pouvait soupçonner l'importance que l'électricité allait prendre dans la vie sociale. D'autre part, il ne faut pas perdre de vue qu'on ne connaît bien *que ce qu'on sait mesurer*. D'où la naissance, vers 1880, d'une foule d'unités nouvelles, qui commencent maintenant à pénétrer dans le grand public. Pour ces unités, il a fallu des noms nouveaux, car il est bien évident qu'on ne saurait mesurer un courant électrique avec des mètres, pas plus qu'on ne peut exprimer un poids en heures... Les commissions internationales eurent l'heureuse idée de choisir des noms de physiciens, dont la contribution à la science avait été particulièrement importante; c'est ainsi qu'une douzaine de savants furent choisis, mais, parmi eux, nous ne rencontrerons pour le moment (§ 17) que les suivants :

James Watt, Écossais (1736-1819);

André-Marie Ampère, Français (1775-1836);

Alessandro Volta, Italien (1745-1827).

Pour comprendre ce que c'est qu'un ampère, un watt ou un volt, nous ferons appel à des *expériences schématiques*, que chacun peut comprendre avec un minimum d'attention. Mais, avant tout, il faut insister sur une distinction assez délicate entre les *grandeurs de totalisation* et les *grandeurs de rapidité*.

Quelques comparaisons feront bien saisir cette différence :

1^o Vous faites couler votre bain; pour cela, vous avez besoin, mettons, de 300 litres d'eau; le volume total de l'eau est une *grandeur de totalisation*, qu'il ne faut pas confondre avec le débit, *grandeur de rapidité*. Supposons que le remplissage de la baignoire ait exigé un quart d'heure : nous dirons que le débit de l'eau était de 20 litres par minute;

2° Les appareils de mesure qu'un automobiliste a sous les yeux — ne parlons pas pour l'instant des instruments électriques — comprennent un totalisateur kilométrique et un tachymètre. Le premier vous apprendra que vous avez abattu, pendant vos vacances, 8 357 kilomètres (*grandeur de totalisation*); le second vous dira si, à tel instant, vous faites « du soixante » ou « du quatre-vingts » [1] (*grandeur de rapidité*);

3° On parle de même de la puissance d'une auto (*grandeur de rapidité*), qu'on exprime en chevaux-vapeur (ch); c'est là une unité baroque, qu'on pourrait fort bien remplacer par le kilowatt ou l'hectowatt (2). Mais quand il s'agit d'une tâche effectuée au bout d'un certain laps de temps, quand il s'agit d'un certain « travail », d'une certaine « énergie » (*grandeur de totalisation*), on emploie une autre unité, qui est l'hectowatt-heure : c'est en hectowatts-heure que sont libellés les relevés mensuels de consommation d'électricité;

4° Enfin, et c'est par là que nous allons commencer, il faut se garder de confondre l'intensité d'un courant électrique (*grandeur de rapidité*) avec la charge électrique (*grandeur de totalisation*) qui a passé à travers un circuit après un temps plus ou moins long.

Voici d'ailleurs un tableau qui résume les indications qui précèdent :

GRANDEURS DE TOTALISATION	GRANDEURS DE RAPIDITÉ
Volume d'eau (litres)	Débit (litres par minute)
Route parcourue (kilomètres)	Vitesse (kilomètres à l'heure)
Énergie consommée } (chevaux-heure)	Puissance } (chevaux)
} (hectowatts-heure)	} (hectowatts)
Charge électrique (ampères-heure)	Intensité de courant (ampères)

9. Définition de l'ampère-heure. — Nous avons précédemment (§ 3) rappelé en quoi consiste le courant électrique dans les fils conducteurs : c'est un glissement d'électrons, impossible à percevoir autrement que par ses effets et qui ne modifie en rien la nature chimique de la substance traversée.

(1) On sous-entend naturellement : « kilomètres à l'heure. »

(2) Nous définissons cette grandeur un peu plus bas (§ 11).

Au contraire, à l'aide du dispositif des figures 9 et 10, nous allons obliger le courant à traverser une solution saline : un cylindre d'argent, suspendu sous le plateau d'une balance, plonge dans une solution de nitrate d'argent à 20 p. 100; cette solution est contenue dans un vase également en argent. Étant abonnés à un « secteur à courant continu », lorsque l'interrupteur

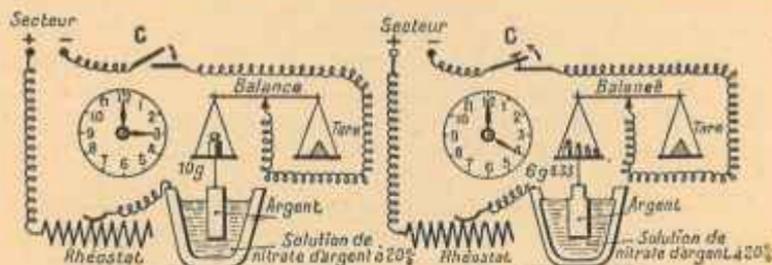


FIG. 9 et 10. — Définitions expérimentales de l'ampère-heure et de l'ampère.

Après le passage du courant, on constate que le vase d'argent s'est aminci et que le cylindre d'argent s'est épaissi. On attend jusqu'à ce qu'il soit nécessaire de remplacer le poids de 10 grammes (qui assurait l'équilibre au début de l'expérience) par 6 g 433 : dans ces conditions, la charge électrique totale qui a traversé le circuit est un ampère-heure. — Si de plus l'expérience dure juste une heure, en restant constamment identique à elle-même, on dit que l'intensité du courant fut un ampère.

teur C sera fermé, les électrons afflueront par le cylindre médian et seront évacués par le récipient périphérique.

Le rhéostat (§ 77) sert à régler le passage du courant. On établit l'équilibre de la balance, en ayant soin de placer un poids de 10 grammes, comme il est indiqué figure 9. Fermons l'interrupteur C et laissons passer le courant. On constate alors que de l'argent a passé du vase sur le cylindre, tandis que la solution ne change nullement (elle ne sert qu'à permettre le transport de l'argent).

Pour rétablir l'équilibre, il faudra remplacer le poids de 10 g par des poids plus petits. Lorsque les 10 g primitifs auront été remplacés par 5 g 875, c'est qu'à ce moment il sera passé 4 g 025 d'argent du vase sur le cylindre (1); on dira alors qu'il a passé

(1) On doit, en fait, tenir compte de la poussée, dirigée vers le haut, qu'exerce la solution sur l'argent qui s'est déposé. En conséquence, pour qu'une masse de 4 g 025 d'argent soit réellement passée du vase sur le cylindre, il faut, afin de maintenir l'équilibre, remplacer les 10 g primitifs non par 5 g 875, mais par 6 g 433.

dans le circuit une charge électrique d'un *ampère-heure* (Ah). Cette charge dépend *exclusivement* du poids d'argent qui s'est déposé, et sa mesure se ramène donc à une simple pesée.

Ce poids de 4 g 025 paraîtra, à première vue, bien arbitraire : il provient de ce que l'ampère (et l'ampère-heure) ont été définis à partir d'autres considérations (action mutuelle des courants et des aimants, § 5); mais le principe que nous venons de donner est plus clair et plus intuitif (1).

Les batteries d'accumulateurs portent des mentions telles que « 20 ampères-heure » : ce nombre représente la « capacité » de la batterie; il exprime qu'en se déchargeant, celle-ci pourra fournir une charge totale de 20 Ah.

10. L'ampère, unité de courant. — Jetons un dernier coup d'œil sur l'expérience schématique des figures 9 et 10. Supposons à présent que cette expérience ait duré exactement une heure; admettons de plus qu'elle se soit poursuivie dans des circonstances invariables (2). Dans ces conditions, nous dirons qu'à chaque instant l'intensité du courant était un ampère (3).

De même que la détermination d'une vitesse — autre *grandeur de rapidité* — nécessite en principe (4) l'emploi d'un mètre et d'une montre, la mesure d'une intensité de courant exige en principe (5) une balance et une montre. Ainsi un courant électrique (continu) est d'autant plus intense qu'il déposerait plus d'argent (6) en un temps plus court.

Pour fixer les idées, les courants d'éclairage sont de l'ordre de l'ampère : une lampe « de 100 watts » laisse passer quatre-vingt-sept centièmes d'ampère. Les locomotives électriques sont

(1) Ajoutons qu'on est arrivé à calculer *très exactement* le nombre d'électrons, qui, au bout d'une heure, ont traversé le circuit : balance-solution-rhéostat des figures 9 et 10. Ce nombre est de : 22 630 000 000 000 000 000 électrons; rien n'est plus propre à faire concevoir l'extrême petitesse des électrons et la merveilleuse précision des expériences électriques.

(2) C'est-à-dire que le secteur était resté parfaitement invariable et que le circuit ne s'était pas sensiblement échauffé.

(3) Ou, plus simplement : le *courant* était un ampère (un ampère correspond sensiblement au passage de six milliards de milliards d'électrons par seconde...).

(4) A moins d'utiliser un instrument à lecture directe (tachymètre).

(5) A moins d'employer un instrument à lecture directe (ampèremètre) : un ampèremètre est, en quelque sorte, un tachymètre pour l'électricité.

(6) On pourrait aussi déposer du cuivre; mais si on a choisi l'argent, c'est parce que son emploi supprime à peu près complètement les effets parasites.



traversées par un millier d'ampères. Les courants intenses confèrent donc une grande puissance aux moteurs; ils dégagent beaucoup de chaleur (dans les fours et dans les lampes), et ils permettent de fabriquer des quantités considérables de produits (dans les usines électrochimiques).

11. L'hectowatt, unité de puissance. — On dit qu'une machine est très puissante, lorsque ses organes, animés d'une *grande vitesse*, exercent des *efforts considérables*. En d'autres termes, la puissance est la rapidité de production du travail; c'est la combinaison de deux notions plus simples :

1^o La notion de force (ou d'effort), dont l'idée intuitive nous est fournie par un poids que nous tenons à bras tendu;

2^o La notion de vitesse, c'est-à-dire de grand déplacement effectué en un temps très court.

L'unité rationnelle de puissance est l'*hectowatt* (hW), qui vaut 100 watts : c'est, par définition, la puissance d'une machine qui, agissant sur une masse d'un quintal (100 kg) au repos (1), la déplace dans un plan horizontal, de telle façon que la vitesse acquise à la fin de la première seconde soit égale à un mètre par seconde (2). L'hectowatt est ainsi défini à partir de la mécanique — science du mouvement — ; nous verrons que cette unité convient parfaitement aux applications de l'électricité; elle peut aussi servir à exprimer un débit de chaleur. Cette universalité de l'hectowatt comme unité de puissance trouve sa raison profonde dans la *conservation de l'énergie*, dans l'équivalence entre toutes les formes de l'énergie, quel que soit l'aspect (mécanique, calorifique, électrique, chimique...) qu'elle revêt.

On emploie encore, comme unité de puissance, le cheval-vapeur (par abréviation : *ch et non CV*) : c'est la puissance d'une machine qui, à Paris, serait capable de soulever, toutes les secondes, un poids de 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur. Le cheval est une unité arbitraire : tant que nous le conserverons, il nous restera une parcelle de l'illogisme que nous reprochons justement aux unités étranges dont les Anglais n'arrivent pas à se débarrasser.

(1) Les frottements sont supposés négligeables, et la puissance n'est employée qu'à vaincre l'inertie de la matière.

(2) La vitesse *moyenne*, pendant cette seconde, est de 50 centimètres par seconde.

Il est possible de démontrer qu'une machine d'un hectowatt soulèverait, à Paris et toutes les secondes, un poids de 10 kg 190 à 1 mètre de hauteur; on en déduit les deux équivalences :

1 cheval vaut 7 hectowatts 36;

1 hectowatt vaut 0 cheval 1359;

ainsi une auto de 12 chevaux a une puissance de 88 hectowatts 3 (ou de 8 kilowatts 83).

Pour fixer les idées, notons que notre pays exploite près de 5 millions de *kilowatts* de houille blanche (1); que la seule chute de la Creuse, à Éguzon (captée pour le P. O.), fournit un million d'hectowatts; qu'un turboalternateur ou un transatlantique peut, au maximum, avoir une puissance deux fois moindre; enfin, qu'une locomotive électrique atteint 20 000 hectowatts.

Remarque importante : il convient de distinguer les hectowatts et les ampères (§ 40). Dans une portion du circuit sans dérivation (ou, si l'on préfère, sans bifurcations), il passe partout le même nombre d'ampères : il passe autant d'ampères dans une lampe à incandescence que dans les fils de jonction, mais la lampe absorbe 1 hectowatt (par exemple), tandis que les fils de ligne ne dissipent qu'une puissance tout à fait négligeable. De même, il passe exactement autant d'ampères dans un moteur que dans la « ligne de force » qui y aboutit; celle-ci ne consomme presque rien, et le moteur produit une puissance de 100 hectowatts par exemple. Bref, les ampères circulent le long de *tout* le circuit; les hectowatts sont localisés *aux endroits utiles*.

12. Unités d'énergie : hectowatt-heure et calorie. — C'est une grave erreur de parler d'hectowatts (hW) — unité de puissance — quand il s'agit d'énergie, exprimable en *hectowatts-heure* (hWh); et, cependant, cette faute est commise quotidiennement par les employés des compagnies de distribution de l'électricité. Nous retrouvons, pour la dernière fois, l'opposition entre les grandeurs de rapidité et les grandeurs de totalisation, dont nous avons dressé plus haut (§ 8) un tableau de correspondance. C'est un peu comme si un cheminot ne faisait aucune différence entre la *distance* de Paris au Havre et la *vitesse* de l'autorail qui effectue ce trajet sans arrêt.

Votre installation possède un compteur (§ 27) de 10 hecto-

(1) Et sensiblement autant dans les usines thermiques.



watts; cela signifie que, sous peine de « faire sauter les plombs » (§ 35), vous ne pouvez, à chaque instant, consommer plus d'électricité qu'il est prévu (1). Si vous fonctionnez à pleine charge pendant une heure, votre consommation, *au bout de ce temps*, aura été de 10 hectowatts-heure. Lorsque, au bout d'un mois, vous aurez consommé 600 hWh (ce qui revient à 150 francs, au prix moyen de 25 centimes l'hectowatt-heure), le montant de votre quittance ne dépendra pas des circonstances secondaires : peu importe que vous soyez partis en vacances la moitié du temps ou que l'utilisation ait été régulièrement répartie entre les trente jours; que vous allumiez vos lampes entre 18 et 22 heures, ou entre 22 et 2 heures; que vos lampes soient plus ou moins nombreuses; qu'elles soient de 30, de 100 ou de 200 watts. La vitesse de rotation du compteur est proportionnelle à la puissance (exprimée en hW); le nombre total des tours, totalisés à la minuterie, donne votre consommation d'énergie (en hWh). Si cette consommation est grande, c'est que le compteur a tourné *vite* (beaucoup d'hectowatts) et *souvent* (beaucoup d'heures).

Nous indiquerons plus loin (à propos de l'éclairage) les relations qui existent entre l'électricité consommée et la lumière obtenue; cette lumière dépend dans une certaine mesure des appareils employés. Mais nous mentionnerons dès maintenant la relation entre l'énergie électrique et la chaleur produite (radiateurs, petits appareils domestiques, ...). La chaleur s'exprime en *calories*; c'est la chaleur nécessaire pour élever d'un degré centésimal (2) la température d'un litre d'eau (3). La théorie et l'expérience conduisent à poser les équivalences suivantes :

1 (grande) calorie *vaut* 0 hectowatt-heure 0116;

1 hectowatt-heure *vaut* 86 (grandes) calories.

En d'autres termes, un hectowatt-heure (dépense : 25 centimes)

(1) C'est dire que (aux pertes près) vous pourrez mettre en marche un moteur d'une puissance telle qu'il donnerait à une *masse* de 1 000 kilogrammes une *vitesse* de 1 mètre par seconde au bout d'une seconde de fonctionnement, mais c'est dire aussi que vous ne pourrez dépasser cette masse ou cette vitesse sans faire sauter les plombs.

(2) On disait précédemment : « un degré centigrade. »

(3) La calorie ainsi définie est la *grande calorie*, le plus souvent employée dans la pratique. (La petite calorie est la millièrne partie de la grande calorie.)

permet théoriquement (1) d'élever de 86 degrés la température d'un litre d'eau.

13. Le volt, unité de tension. — La plupart des abonnés aux secteurs électriques et, même, la plupart des électriciens ne comprennent pas bien ce que c'est qu'un volt. La difficulté qu'on éprouve ici provient de deux causes : tout d'abord de ce que les vulgarisateurs ont pris l'habitude de suggérer des comparaisons hydrauliques, à la fois inexactes et inopérantes; ensuite, et surtout, de ce que la notion de *tension électrique* (2) n'est pas une notion simple. Il n'en est pas moins

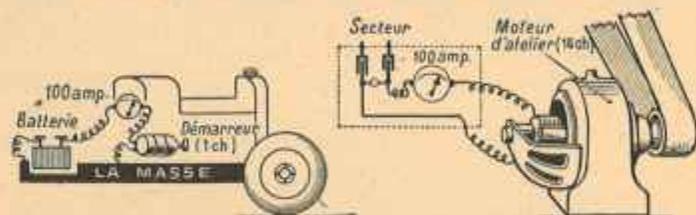


FIG. 11 et 12. — Pour bien comprendre ce que c'est qu'un volt, il est bon de comparer les accus d'une auto avec le secteur.

La batterie (fig. 11) débite dans le démarreur un courant de 100 ampères et développe ainsi une puissance d'un cheval. Le secteur (fig. 12), lorsqu'il envoie 100 ampères dans un moteur d'atelier, produit 14 ch (10 kW). On conçoit que la tension du secteur (115 volts) soit 14 fois plus grande que celle de la batterie (8 volts), puisque le même courant fournit une puissance 14 fois plus grande.

vrai que cette grandeur, la plus délicate à définir, devient parfaitement claire quand on se reporte attentivement à deux des grandeurs précédemment définies : d'une part, la puissance électrique consommée (§ 11), exprimée en hectowatts et utilisée sous n'importe quelle forme (calorifique, mécanique, chimique...), et, d'autre part, le débit de l'électricité (le flux d'électrons le long du circuit) ou intensité de courant (§ 10), qu'on mesure en ampères.

Pour prendre un exemple concret, nous allons comparer la batterie d'accus d'une auto et le secteur à courant continu.

(1) C'est-à-dire s'il n'y a pas de pertes de chaleur.

(2) On dit aussi « différence de potentiel », « diff. de pot. »; mais je préfère ici le mot plus simple de tension, couramment utilisé dans les expressions : basse tension et haute tension.



1^o Une batterie d'auto pèse 15 kilogrammes et possède une capacité de l'ordre de 50 Ah; elle sert notamment à alimenter le démarreur électrique (fig. 11). Pour le démarrage, le courant qui passe est, mettons, 100 ampères (on ne le laisse passer que très peu de temps : entre une et trois secondes); et, d'autre part, comme le moteur est de l'ordre d'un cheval (§ 10), la puissance consommée, qui serait 736 watts (si le rendement était de 100 p. 100), atteint à peu près 800 watts;

2^o Considérons, par ailleurs, un moteur d'atelier (fig. 12), branché sur le secteur à courant continu. La puissance utile de ce moteur est, par exemple, 14 chevaux (ou, ce qui revient au même, 100 hectowatts); admettons qu'il faille, pour le mouvoir, dépenser une puissance électrique de 115 hectowatts (ce qui représente un rendement raisonnable de 87 p. 100). De plus, le courant qui passe dans ce second moteur est également 100 ampères.

Nous pouvons donc dresser le tableau suivant :

Accus d'auto	100 ampères	800 watts,
Secteur	100 ampères	11 500 watts;

la confrontation de ces nombres suggère une remarque importante : un *même* courant (de 100 ampères) fournit une puissance quatorze fois plus grande dans le cas du secteur que dans le cas de la batterie d'accus. Il y a donc une certaine propriété, une certaine qualité, qui est préférable dans l'énergie électrique que le réseau nous offre : les accus ne donnent que 8 watts par ampère, tandis que le secteur en fournit 115. L'expression, trop longue, « watt par ampère », est remplacée par volt (V); on dit que la tension (1) du secteur est à peu près quatorze fois plus grande que celle de la batterie : la tension de la batterie est 8 volts; celle du réseau, 115 volts.

En d'autres mots, la tension entre deux points (bornes du secteur, pôles des accus,...) est d'autant plus grande qu'un courant plus faible y développera plus de puissance (mécanique, calorifique, chimique, etc.) : beaucoup de volts permettent à peu d'ampères de fournir beaucoup de watts.

(1) Si on tient absolument à se faire une image hydraulique, le mieux est de se reporter à la figure 3 et de comparer la tension électrique à la différence de pression qui existe entre les deux faces de la bougie : cette différence de pression fait filtrer l'eau à travers la porcelaine poreuse; la tension fait glisser les électrons entre les atomes de métal.

Voici, pour fixer les idées, quelques ordres de grandeur. Les piles thermoélectriques ont des tensions de l'ordre du millivolt. Chaque élément d'un bloc de piles ou d'une batterie d'accus est compris entre 1 et 2 V; les secteurs sont à 115 V; le métro parisien, à 600 V; la ligne Paris-Hendaye, à 1 500 V. On utilise, pour le transport de l'énergie électrique, des tensions de quelques centaines de kilovolts. Et la plus haute tension obtenue dans les laboratoires atteint 10 000 kV, dix millions de volts; elle

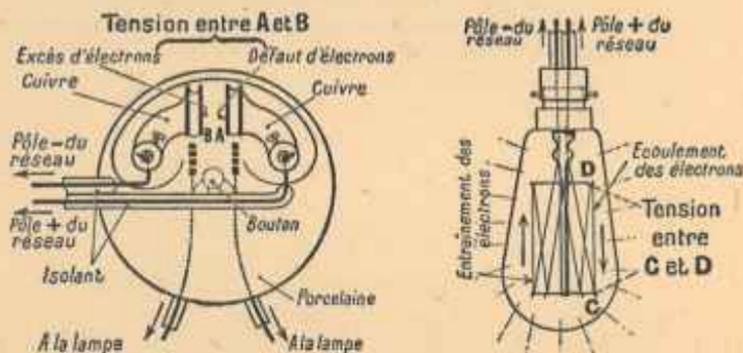


FIG. 13 et 14. — Les deux sortes principales de tensions électriques.

Il existe une tension entre les deux lampes A et B d'un interrupteur bipolaire, parce que les électrons s'y trouvent en nombres différents. Il existe une tension entre deux points C et D d'une lampe allumée, parce que les électrons possèdent une vitesse d'entraînement de D vers C.

correspond à l'éclatement d'une étincelle dont la longueur est très supérieure à un mètre.

14. Nature concrète des tensions électriques. — Pour mieux nous rendre compte en quoi consistent les tensions électriques, il n'est pas inutile d'expliquer en quelques mots comment les électrons interviennent, lorsque l'on constate l'existence d'une tension entre deux points.

Il y a plusieurs sortes de tensions, dont nous retiendrons les suivantes :

1^o La tension qui existe, par exemple, entre les deux lames A et B d'un interrupteur (fig. 13); cette tension provient de ce que, sur les deux pièces métalliques en regard, le nombre des électrons n'est pas le même : la tension est d'autant plus haute

**TABLEAU D'ENSEMBLE
DES UNITÉS ÉLECTRIQUES FONDAMENTALES**

AMPÈRE-HEURE (Ah)**Charge électrique**

qui, passant dans une solution de nitrate d'argent, dépose 4 grammes 025 d'argent.

**AMPÈRE (A)****Intensité
d'un courant**

restant identique à lui-même et qui, au bout d'une heure, a transporté un ampère-heure.

**VOLT (V)****Tension**

entre deux points tels qu'un courant d'un ampère produit (ou consomme) une puissance d'un watt.

HECTOWATT (hW)**Puissance**

d'une machine qui, agissant sur un quintal (au repos), le déplace horizontalement de façon qu'à la fin de la première seconde, la vitesse soit égale à 100 centimètres par seconde.

**HECTOWATT-
HEURE (hWh)****Énergie**

produite (ou consommée) au bout d'une heure par un appareil qui fournit (ou absorbe) une puissance d'un hectowatt.

**(GRANDE) CALORIE****Quantité de chaleur**

équivalente à la 86^e partie d'un hectowatt-heure.



que la différence entre ces nombres d'électrons est plus considérable. Ainsi, un même interrupteur, placé successivement aux bornes du secteur et aux bornes d'une batterie d'auto, présentera une différence quatorze fois plus faible dans ces nombres d'électrons dans le second cas que dans le premier. C'est le pôle négatif qui porte le plus d'électrons. Si les électrons sont également nombreux, c'est qu'il y a une « panne du secteur » ou que les accus sont déchargés à fond : la tension est nulle;

2° La tension qui existe, par exemple, entre deux points C et D d'un filament de lampe à incandescence (*fig. 14*); cette tension provient de ce que, dans le filament, quand il brille, les électrons sont entraînés en bloc du pôle négatif du secteur vers le pôle positif : la tension est d'autant plus haute entre ces points C et D que les électrons cheminent plus vite. Lorsqu'on éteint la lampe, les électrons ne se déplacent plus le long du filament, et la tension entre C et D s'annule.

15. Tableau d'ensemble des unités électriques fondamentales. — Les grandeurs et unités électriques que nous venons de passer en revue sont résumées dans le tableau synoptique de la page précédente.

Parmi les deux grandeurs fondamentales (charge électrique et puissance) qui nous ont servi à déduire toutes les autres, seule la charge (exprimée en ampères-heure) est une grandeur spécifiquement électrique.

On trouvera des notions complémentaires sur les mesures électriques dans *Idées nouvelles...* (3^e édition, pp. 31-52).

Nous donnons ci-dessous les valeurs de l'énergie électrique consommée en moyenne par habitant et par an dans divers pays d'Europe (1938) :

Italie	3 500	hWh
France	4 400	—
Angleterre	5 100	—
Allemagne	7 200	—
Suède	13 000	—
Suisse	16 000	—
Norvège	28 000	—

Chapitre III

COURANT CONTINU ET COURANTS ALTERNATIFS

16. Dégagement de chaleur par le courant continu. —

Nous nous sommes bornés dans ce qui précède (§ 3) à expliquer *en quoi consiste* le courant électrique. Si nous jetons un nouveau coup d'œil sur la figure 1, qui représente un fragment de métal, et si ce métal est parcouru par un courant électrique horizontal, les petits cercles (électrons) vont se déplacer de la gauche vers la droite, par exemple, tandis que les gros cercles (atomes) resteront immobiles *en moyenne*.

Ces mots « en moyenne » exigent quelques éclaircissements. En réalité, les atomes *dansent sur place* dans tous les sens, en effectuant, d'ailleurs, un *très grand* nombre d'oscillations par seconde. Mais ce nombre, parfaitement déterminé, importe peu ici; ce qu'il convient de savoir, c'est que, dans un métal froid, les frémissements locaux des atomes ont une faible amplitude, les atomes s'écartent peu de leur position moyenne. Au contraire, au fur et à mesure que la température augmente — comme quand on place une cuiller dans un liquide chaud —, les amplitudes croissent elles aussi: un métal est chaud, lorsque les fourmillements sur place sont très énergiques.

Ceci dit, lorsque nous allons forcer les électrons à se déplacer tous ensemble de la gauche vers la droite, un certain nombre d'entre eux (fig. 15) vont *heurter* les atomes (on songera à des boules lancées dans un jeu de quilles): ces chocs incessants auront pour effet d'accroître l'énergie des oscillations atomiques, ce qui correspond (nous venons de le dire) à une élévation de

Entraînement des électrons

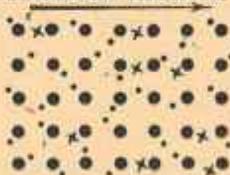


FIG. 15. — Le courant électrique dégage de la chaleur.

Lorsque les électrons (petits cercles) se déplacent tous ensemble de la gauche vers la droite, il y en a (ceux qui sont marqués d'une croix) qui heurtent les atomes (gros cercles): c'est à ces chocs qu'est due la chaleur dégagée par le courant.

température. Et voilà pourquoi le passage d'un courant électrique (continu) dans un corps conducteur dégage de la chaleur.

Il se présente alors une difficulté, qui vient immédiatement à l'esprit : comment se fait-il que le long d'un circuit parcouru par un courant électrique, le « débit de chaleur » (c'est-à-dire le nombre de calories dégagées par seconde) ne soit pas partout le même ? Ou, pour fixer les idées, à quoi est dû ce fait que les lampes à incandescence chauffent beaucoup et que les canalisations se maintiennent sensiblement à leur température initiale ? La réponse à cette question nous est donnée par la considération de la résistance électrique.

17. La résistance électrique. — Le passage du courant dans la matière est particulièrement simple lorsqu'on a affaire à un corps homogène, à température uniforme, immobile dans un champ magnétique invariable.

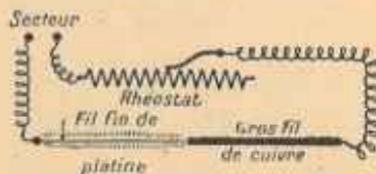


FIG. 16. — La résistance électrique.

Un même courant passe à travers les fils de cuivre et de platine; si le débit de chaleur est 2 500 fois plus grand dans le platine que dans le cuivre, on dit que le premier fil est 2 500 fois plus résistant que le second.

Lorsque ces multiples conditions sont satisfaites, toute la puissance électrique consommée se retrouve sous forme de chaleur : c'est le cas pour les ampoules à incandescence, pour les radiateurs électriques, pour les rhéostats, pour les inducteurs (fixes) des moteurs et des dynamos (1).

Bornons-nous à ce cas particulier et considérons, pour simplifier, plusieurs fils de section et de nature différentes : nous branchons sur le secteur et « en série » (2) un gros fil de cuivre et un fil fin de platine (fig. 16) ; le platine pourra être porté au rouge, sans que le cuivre chauffe sensiblement. Si le fil de cuivre a un diamètre de 2 millimètres et le fil de platine d'un dixième de millimètre, le débit de chaleur est 2 500 fois plus grand dans le platine que dans le cuivre :

(1) Au contraire, les phénomènes sont plus compliqués quand il s'agit des couples thermoélectriques, des piles, des accumulateurs et des récepteurs électrochimiques des deux circuits (primaire et secondaire) d'un transformateur, des inducts (rotatifs) qui constituent la partie mobile des dynamos et des moteurs.

(2) A la suite l'un de l'autre. Le rhéostat (§ 77) sert à régler l'intensité du courant.

on dit que le fil de platine est 2 500 fois plus résistant que le fil de cuivre.

L'unité de résistance est l'ohm (1). Un fil possède une résistance d'autant plus considérable que, traversé par un courant plus faible, il y a production d'un débit de chaleur plus grand : il a une résistance d'un *ohm* lorsque, parcouru par un courant d'un ampère (2), il dissipe un watt (3) sous forme de chaleur.

Une lampe à incandescence, marquée « 100 W-115 V », possède une résistance d'environ 130 ohms; les spirales chauffantes des radiateurs valent entre 5 et 50 ohms. Inversement,

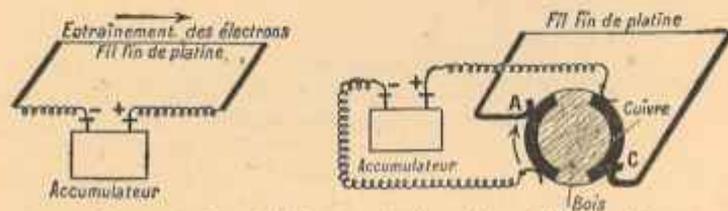


FIG. 17 et 18. — Différence entre le continu et l'alternatif.

Lorsqu'on ferme un accumulateur sur un fil de platine (fig. 17), les électrons se déplacent constamment dans le même sens : c'est du courant continu. Si on interpose, comme dans la figure 18, un commutateur tournant, faisant, par exemple, 25 tours par seconde, les électrons dans le fil fin de platine oscillent sur place : on dit que ce fil est parcouru par du courant alternatif.

on s'arrange, en général, pour que les installations privées soient isolées par une résistance d'au moins 100 000 ohms (résistance d'isolement) : soumises à la tension de 115 volts, elles ne laisseront donc passer — en pure perte — qu'un courant de l'ordre du milliampère dans les isolants (« perditance »).

Faisons remarquer que, dans tous les appareils où le chauffage (et l'éclairage) ne sont pas les buts poursuivis, une certaine fraction de la puissance est perdue sous forme de chaleur rayonnée, car le passage d'un courant dégage toujours (4) de la cha-

(1) Du nom du physicien allemand Ohm (1787-1854), qui formula, il y a plus d'un siècle, les lois du courant électrique.

(2) Quand un fil d'un ohm est traversé par un ampère, il y a, entre ses extrémités, une tension d'un volt (lorsque sont remplies les multiples conditions prescrites au début de ce paragraphe).

(3) Au bout d'une heure, la chaleur totale dégagée est un watt-heure, ce qui correspond à 0 (grande) calorie 86 ($\frac{1}{4}$ 12).

(4) Sauf lorsque le courant électrique traverse le vide des lampes de T. S. F. et des photocellules.

leur; c'est la raison pour laquelle les induits des moteurs et des dynamos ont une résistance aussi faible que possible.

18. En quoi consiste le courant alternatif? — C'est le « continu » qui va nous servir à faire comprendre en quoi consiste l'« alternatif » : le premier est analogue à une brise, le deuxième est comparable à un son.

Reprenons (fig. 17) le cas d'un fil fin de platine qui est traversé par un courant continu; la source d'électricité sera ici un accumulateur dont on relie les deux pôles (+ et -) directement aux deux bouts du fil.

Dans la figure 18, les deux pôles de l'accu sont reliés aux bouts du fil par l'intermédiaire d'un commutateur tournant : c'est un cylindre d'ébonite (ou même de bois), partiellement recouvert de cuivre et tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, à raison, mettons, de 1 500 tours par minute, c'est-à-dire de 25 tours par seconde. Le frotteur A est tantôt négatif (cas de la figure) et tantôt positif — après une rotation d'un quart de tour,

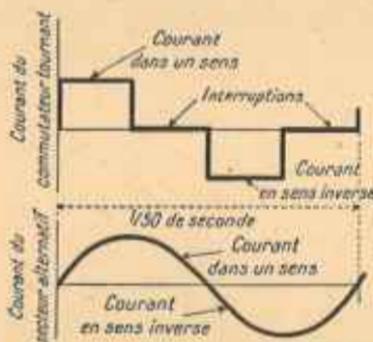


FIG. 19. — Courant d'un commutateur tournant et courant d'un secteur alternatif.

Pendant un demi-tour de rotation, le commutateur tournant donne un courant tantôt dans un sens tantôt dans un autre, mais le courant est coupé pendant une fraction notable du temps. Le secteur alternatif fournit au contraire un courant beaucoup plus régulier.

soit un 200^e de seconde plus tard. Inversement, le frotteur C est tantôt positif et tantôt négatif. Si nous réunissons A et C aux deux bouts du fil de platine, celui-ci continuera à s'échauffer, puisque la chaleur dégagée ne dépend pas du sens de l'écoulement des électrons; tout le monde sait bien, en effet, que, pour ajuster une lampe sur sa douille, il n'y a aucune précaution à prendre en ce qui concerne les conducteurs qui se correspondent; on ne change rien, quand on intervertit le sens du courant dans la lampe, c'est-à-dire quand on fait tourner la lampe d'un demi-tour après avoir dégagé le culot.

La figure 19 (haut) représente le courant — tantôt dans un sens, tantôt en sens contraire — qui passe le long du fil de platine

de la figure 18 : un instant de réflexion montre que, pendant demi-tour du commutateur (soit pendant $1/50$ de seconde), le frotteur A, par exemple, a été réuni une fois au pôle + et une fois au pôle — de l'accu. Ce courant est assez irrégulier, puisqu'il ne passe pas de courant pendant une fraction notable du temps; les réseaux alternatifs fournissent, au contraire, un courant bien plus régulier, dont les variations (en fonction du temps) sont représentées par la courbe sinueuse de la figure 19 (bas).

19. Mouvements des électrons dans un conducteur parcouru par un courant alternatif.

— Considérons (fig. 20) le cas des deux fils de jonction qui relient les bornes d'un secteur alternatif à la douille d'une ampoule allumée. Dans l'un de ces fils (celui de gauche, par exemple), un électron E effectue des oscillations telles que OAO, dont la durée est $1/50$ de seconde et dont l'« amplitude » OA est de l'ordre d'un centième de millimètre. C'est donc une grossière erreur de croire — comme on le fait parfois — que les électrons parcourent la canalisation tout entière de bout en bout...

La vitesse de l'électron est maximum, lorsqu'il passe par le point O. De même, dans l'autre fil (celui de droite), un électron E' effectue des oscillations telles que O'A'O'C'O', de même durée et de même amplitude, la vitesse passant par son maximum au point O'. De plus, si, à un instant précis, l'électron du fil de gauche est en E se dirigeant de gauche à droite, l'électron du fil de droite se trouvera à la position correspondante E', se dirigeant, lui aussi, de gauche à droite, avec la même vitesse : on dit que, dans un circuit parcouru par un courant alternatif, tous les électrons sont « synchrones » ou « en phase ».

C'est aussi le cas pour les électrons du filament de tungstène de la lampe; mais l'amplitude dans le tungstène est plus grande, ainsi que la vitesse maximum.

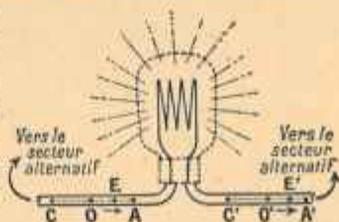


FIG. 20. — Les oscillations d'électrons dans le courant alternatif simple.

C'est le cas d'une lampe qu'on vient d'allumer. Les électrons E et E' des deux fils de jonction oscillent synchroniquement entre C et A et entre C' et A'; on dit aussi qu'ils sont en phase. Les longueurs CA et C'A' atteignent au plus 1 centimètre.

On dit que la *fréquence* des courants alternatifs industriels est 50 périodes par seconde ou, plus brièvement, 50 *cycles* (fréquence normale). Ces courants alternatifs sont exactement de même nature que les oscillations dont sont le siège les antennes des postes de T. S. F.; mais, tandis que les lignes de lumière et de force emploient des *basses fréquences*, les émissions radiophoniques utilisent des *hautes fréquences*: Radio-Paris a choisi une fréquence de 182 kilocycles; en une seconde, les électrons de l'antenne effectuent 182 000 oscillations analogues à OAOCO (fig. 20).

20. Comment choisir un courant alternatif équivalent à un courant continu. — Il s'agit maintenant de pouvoir repérer les effets de l'alternatif par rapport à ceux du continu, de trouver une sorte d'« équivalence » entre les deux modalités de courants. Cette équivalence ne saurait être absolue: tout le monde sait, notamment, qu'il est impossible de « charger des accus » en se servant *directement* de l'alternatif: l'équivalence ne pourra donc pas concerner les phénomènes électrochimiques. Par contre, il sera bien commode que les mêmes lampes puissent fonctionner indistinctement sur les deux catégories de réseaux de distribution, puisque l'alternatif — nous l'avons vu (§ 18) — dégage de la chaleur, tout comme le continu.

La question essentielle qui se pose est la suivante: quelle relation peut-il y avoir entre la vitesse *continue* communiquée par un accu aux électrons (fig. 17) et la vitesse *maximum* des électrons en O ou en O' (fig. 20), pour que le débit de chaleur soit le même. On se rend compte que la vitesse en O — qui n'est atteinte que pendant un instant extrêmement court — doit être *plus grande* qu'une vitesse qui reste constamment la même. D'une manière plus précise, le calcul et l'expérience sont d'accord pour conclure que la vitesse maximum en O (fig. 20) soit 1,414 fois plus grande (1) que la vitesse continue (fig. 17). Quand cette condition est remplie, on dit que l'*intensité efficace* du courant alternatif est égale à l'intensité du courant continu qu'il est capable de remplacer.

La même relation existe d'ailleurs pour les tensions (§ 13). Pour les réseaux continus, la tension choisie est maintenant

(1) 1,414, c'est la racine carrée de 2 ($1,414 \times 1,414 = 2$).

115 volts; les lampes à incandescence pourront servir également sur l'alternatif, si celui-ci possède une *tension efficace* de 115 volts, c'est-à-dire si, cinquante fois par seconde, la tension oscille entre + 163 volts et - 163 volts, car 163 est le produit de 115 par 1,414 (V. note 1, p. 34).

Résumons les caractères du courant alternatif simple par une comparaison familière. Certaines potions portent sur leur étiquette: « Agiter

avant de s'en servir; » l'agitation du liquide du flacon donne une image de l'oscillation des électrons (fig. 20) sous l'influence d'une tension alternative. Au contraire, la versée du liquide dans une cuiller à soupe est analogue à l'écoulement uniforme des électrons (fig. 17) soumis à une tension continue.

A première vue, le courant alterna-

tif peut apparaître comme quelque peu étrange, mais il présente deux avantages considérables :

- 1° Il est plus facile à produire aux dépens de l'énergie mécanique, fournie par les chutes d'eau et les moteurs thermiques;
- 2° Il est d'un transport bien plus économique.

Ces deux raisons expliquent la vogue de l'alternatif, non seulement de l'alternatif simple (ou « monophasé »), mais encore du triphasé, dont il nous reste à parler.

21. Le triphasé ; montage en triangle. — Le « secteur de la rive gauche » de Paris est de l'alternatif simple — on dit aussi monophasé — à 115 volts efficaces. Mais on emploie souvent — plus souvent, même, en province et à l'étranger —

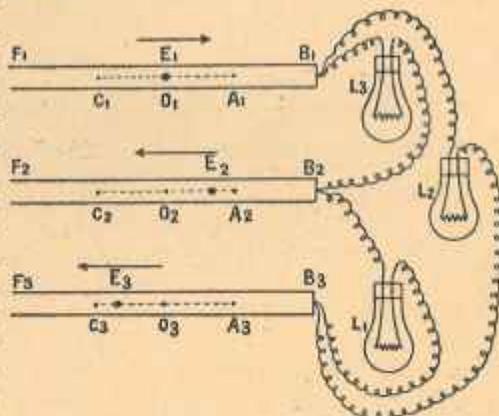


FIG. 11. — Les oscillations d'électrons dans le triphasé.

$F_1 F_2 F_3$ sont les fils d'arrivée du courant chez l'abonné. Quand les lampes $L_1 L_2 L_3$ sont allumées, les électrons $E_1 E_2 E_3$, qui oscillent chacun à raison de 50 cycles, se suivent à 1 cent cinquantième de seconde.

des distributions à trois fils (ou à quatre fils), qu'on nomme *du triphasé* et pour lesquelles on peut établir deux montages : le montage fermé ou *en triangle*, le montage ouvert ou *en étoile*.

Trois fils F_1, F_2, F_3 arrivent à trois bornes B_1, B_2, B_3 (fig. 21) chez l'abonné, et il y a, entre ces trois fils, une tension alternative de 115 volts efficaces. L'abonné dispose alors trois lampes ordinaires L_1, L_2, L_3 entre les bornes B_1, B_2, B_3 et B_2, B_1 ; naturellement, il est libre de n'en allumer qu'une ou deux, grâce aux interrupteurs K_1, K_2, K_3 , indiqués sur la figure schématique 22, qui explique clairement la dénomination « en triangle » appliquée à cette sorte de montage.

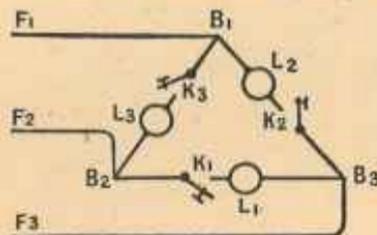


FIG. 22. — Montage en triangle.

C'est la reproduction schématique de la figure 21. K_1, K_2, K_3 sont trois interrupteurs, qui permettent d'allumer une, deux ou trois des lampes L_1, L_2, L_3 . On peut remplacer une des lampes par un petit moteur universel.

Les machines génératrices — dites « alternateurs triphasés » — qui tournent dans les usines électriques ont pour effet de faire osciller les électrons dans les trois fils F_1, F_2, F_3 ; mais, à l'inverse de ce qui a lieu pour l'alternatif simple (électrons E, E' de la figure 20), les électrons E_1, E_2, E_3 (fig. 21) ne sont pas « en phase ». La durée d'une oscillation complète (telle que O_1, A_1, O_1, C_1, O_1) est à nouveau un cinquantième de seconde, mais les trois électrons *se courent l'un après l'autre et se suivent à un cent cinquantième de seconde* d'intervalle, ainsi que le montre clairement notre figure 21.

Il nous reste à préciser les valeurs des courants et des tensions dans un tel montage (fig. 23). Les lampes L_1, L_2, L_3 sont, par exemple, toutes trois de 100 watts : elles consomment donc 0 ampère 87 sous 115 volts (1). Supposons de plus qu'elles soient *allumées toutes les trois* (2); chacune des phases B_1, B_2, B_3 (ou

(1) 0,87 multiplié par 115 égale 100 (voir § 13).

(2) Il peut d'ailleurs se présenter deux autres cas :

1^o La lampe L_2 est *seule allumée*. Les courants dans les phases B_2, L_2, B_1 et B_3, L_2, B_1 sont nuls, ainsi que le courant dans le fil F_2 (les électrons n'oscillent pas dans ces phases et dans ce fil). Le courant dans la phase B_1, L_2, B_3 est toujours 0 ampère 87; et les courants dans les fils F_1 et F_3 ont aussi cette dernière valeur;

2^o Les lampes L_2 et L_3 sont *allumées toutes les deux*. Le courant dans la phase



B_2, L_2, B_1) est traversée par 0 ampère efficace 87. Les courants dans les fils F_1, F_2, F_3 seront de 1 ampère efficace 51, c'est-à-dire de 0,87 multiplié par 1,732 (1). Quant à la tension efficace « entre fils », elle est évidemment égale à la tension efficace « entre phases ».

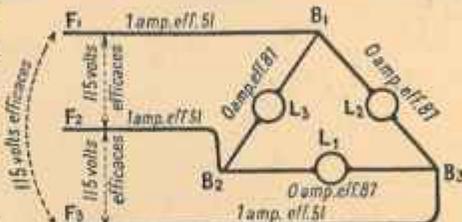


FIG. 23. — Courants et tensions dans le triphasé-triangle.

Les trois lampes L_1, L_2, L_3 (supposées de 100 watts) sont allumées toutes les trois. La tension entre fils (entre F_1 et F_2) est égale à la tension entre phases (c'est-à-dire entre les extrémités B_1 et B_2 de la « phase » B_1, L_2, B_2). Les courants dans les fils (tels que F_1, B_1) sont égaux aux courants dans les phases (telles que B_1, B_2) multipliés par 1,732.

22. Le triphasé ; montage en étoile.

— Ce second montage est en quelque sorte complémentaire du précédent.

Chez l'abonné (fig.

24) arrivent trois fils F_1, F_2, F_3 , où les oscillations électroniques

seront les mêmes que précédemment (fig. 21); mais, en outre, un quatrième fil N, appelé le fil neutre (ou, tout simplement, « le neutre »), aboutit à une borne particulière O, dite « point neutre » ou centre de l'« étoile ».

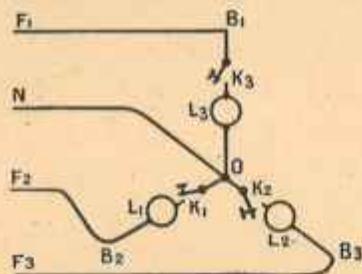


FIG. 24. — Montage en étoile.

Au lieu des trois fils F_1, F_2, F_3 (fig. 22), il y en a quatre : le fil N est appelé fil neutre ou « neutre ». La tension entre F_1 et F_2 est 200 volts, pour que la tension entre B_1 et O soit à nouveau 115 volts (comme entre B_1 et B_2 , fig. 22). On peut remplacer une des lampes par un petit moteur universel.

Nous avons à nouveau trois phases B_1, L_1, O, B_2, L_2, O et B_3, L_3, O . Ici, les courants « dans les phases » sont égaux aux courants « dans les fils » : pour trois lampes L_1, L_2, L_3 de 100 watts (toutes trois allumées), les courants sont partout égaux à 0 ampère efficace 87

(fig. 25), sauf dans le fil neutre N où l'intensité est nulle.

B_2, L_2, B_3 est nul. Les courants dans les phases B_1, L_1, B_2 et B_3, L_3, B_1 sont à nouveau 0 ampère efficace 87, ainsi que dans les fils F_2 et F_3 . Le courant dans le fil F_1 est naturellement 1 ampère efficace 74 (0,87 x 2).

(1) 1,732, c'est la racine carrée de 3 (1,732 x 1,732 = 3).

Pour pouvoir placer les lampes entre le fil neutre N, d'une part, et chacun des autres fils (F_1 , F_2 ou F_3), d'autre part, il faut que les « tensions entre phases » ou *tensions étoilées* (entre N et F_1 , entre N et F_2 , entre N et F_3) soient 115 volts efficaces.

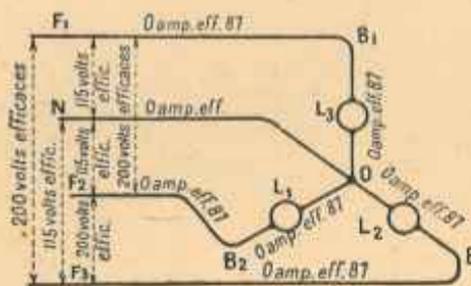


FIG. 25. — Courants et tensions dans le triphasé-étoile.

Les trois lampes L_1 , L_2 , L_3 (supposées de 100 watts) sont allumées toutes les trois. Les courants dans les fils (F_1 , B_1 , F_2 , B_2 et F_3 , B_3) sont égaux aux courants dans les phases (telles que B_1 , L_3 , O) ; le courant dans le fil neutre NO est nul. Comme on désire que la *tension étoilée* (c'est-à-dire la tension entre phases, par exemple entre O et B_1) soit 115 volts efficaces, il faut que la *tension composée* (c'est-à-dire la tension entre fils, par exemple entre F_1 et F_2) soit 200 volts efficaces, c'est-à-dire 115 multiplié par 1,732.

Lorsque les trois lampes L_1 , L_2 , L_3 (supposées identiques) sont allumées, le courant qui passe dans le fil neutre est nul ; on pourrait supprimer ce fil N (2) et on amènerait ainsi *trois courants différents avec trois fils* (ce qui, à première vue, semble le comble du paradoxe). Le fil neutre N n'est là que pour parer au déséquilibre des phases (3), c'est-à-dire à la latitude qu'on laisse à l'abonné de n'allumer qu'une ou deux lampes à sa guise, en agissant sur les interrupteurs K_1 , K_2 , K_3 de la figure 24.

Le montage en étoile est, en principe, plus économique que le montage en triangle, car il transporte l'énergie électrique sous une tension plus élevée (200 volts efficaces, au lieu de 115), mais les dangers d'électrocution (§ 34) sont plus grands.

(1) C'est pour obtenir un *nombre rond* (200) pour la tension composée qu'il a été décidé de faire passer la « tension normale » (en continu et en alternatifs) de 110 à 115.

(2) Lorsqu'on supprime le fil neutre N , on réunit métalliquement le point O (centre de l'étoile) au sol, c'est-à-dire, par exemple, à la canalisation d'eau.

(3) Lorsque le fil neutre N est supprimé, c'est la canalisation d'eau qui remédie au déséquilibre des phases.

Ce résultat a lieu lorsque les « tensions entre fils » ou *tensions composées* (entre F_1 et F_2 , entre F_2 et F_3 , entre F_3 et F_1) sont égales à 200 volts efficaces (1), c'est-à-dire à 115 multiplié par 1,732 (note 1, page 37).

Lorsque les trois lampes L_1 , L_2 , L_3 (supposées identiques) sont allumées, le courant qui passe dans le fil neutre est nul ; on pourrait supprimer ce fil N (2) et on amènerait ainsi *trois courants différents avec trois fils* (ce qui, à première vue, semble le comble du paradoxe). Le fil neutre N n'est là que pour parer au déséquilibre des phases (3), c'est-à-dire à la latitude qu'on laisse à l'abonné de n'allumer qu'une ou deux lampes à sa guise, en agissant sur les interrupteurs K_1 , K_2 , K_3 de la figure 24.

(1) C'est pour obtenir un *nombre rond* (200) pour la tension composée qu'il a été décidé de faire passer la « tension normale » (en continu et en alternatifs) de 110 à 115.

(2) Lorsqu'on supprime le fil neutre N , on réunit métalliquement le point O (centre de l'étoile) au sol, c'est-à-dire, par exemple, à la canalisation d'eau.

(3) Lorsque le fil neutre N est supprimé, c'est la canalisation d'eau qui remédie au déséquilibre des phases.

23. Passage de l'étoile au triangle. — Il est important de savoir à quel montage de triphasé on a affaire, car il n'est pas toujours possible de passer de l'un à l'autre.

Ainsi, pour l'éclairage, il faut faire bien attention (quand il s'agit de l'étoile, *fig. 25*) de brancher les lampes sur la tension étoilée, c'est-à-dire entre un des fils et le neutre N. Une faute de montage telle que le branchement d'une lampe sur la tension composée (entre F_1 et F_2), ferait passer dans la lampe, non plus 0 ampère efficace 87, mais 1 ampère efficace 51 ($0,87 \times 1,732$). La lampe « survoltée » grillerait, sans parler des plombs placés sur F_1 et sur F_2 , qui risqueraient de « sauter ».

Au contraire, le passage de l'étoile au triangle est avantageux pour les moteurs triphasés, dont la partie fixe (ou stator) comporte trois bobines A_1, A_2, A_3 (*fig. 26*). Ces bobines sont



FIG. 26, 27 et 28. — Montages des moteurs sur le triphasé.

La partie fixe (ou stator) des moteurs triphasés (*fig. 26*) comporte trois bobines identiques A_1, A_2, A_3 . Si on branche ces trois bobines sur la tension étoilée (115 volts efficaces), le courant qui passe (15 amp. eff.) est relativement faible, et le moteur ne fournit qu'une puissance réduite, de deux chevaux dans le cas choisi (*fig. 27*). Mais si on branche les bobines A_1, A_2, A_3 sur la tension composée (200 volts efficaces) en coupant le fil neutre, l'intensité est accrue dans le même rapport (20 amp. eff. au lieu de 15), et le moteur a une puissance de six chevaux (*fig. 28*) au lieu de deux.

reproduites schématiquement sur les figures 27 et 28. Si nous disposons du triphasé-étoile (ce qui, en pratique, est toujours le cas), nous avons le choix entre les deux montages :

1^o Le moteur est monté en étoile (*fig. 27*) : chacune des bobines A_1, A_2, A_3 est soumise à la tension étoilée de 115 volts efficaces; le courant sera de 7 ampères si le moteur est de 2 chevaux (15 hectowatts);

2^o Mais on peut aussi monter le moteur en triangle (*fig. 28*) sur cette même distribution en étoile. Le fil neutre N est coupé, et chaque bobine A_1, A_2, A_3 est soumise à la tension composée

Pour pouvoir placer les lampes entre le fil neutre N, d'une part, et chacun des autres fils (F_1 , F_2 ou F_3), d'autre part, il faut que les « tensions entre phases » ou *tensions étoilées* (entre N et F_1 , entre N et F_2 , entre N et F_3) soient 115 volts efficaces.

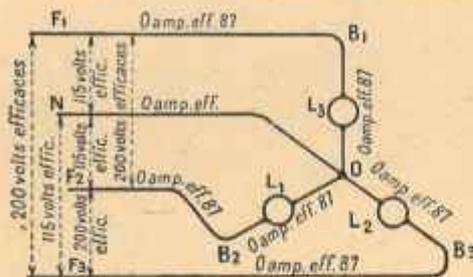


FIG. 25. — Courants et tensions dans le triphasé-étoile.

Les trois lampes L_1 , L_2 , L_3 (supposées de 100 watts) sont allumées toutes les trois. Les courants dans les fils (F_1 , B_1 , F_2 , B_2 et F_3 , B_3) sont égaux aux courants dans les phases (telles que B_1 , L_1 , O) ; le courant dans le fil neutre NO est nul. Comme on désire que la *tension étoilée* (c'est-à-dire la tension entre phases, par exemple entre O et B_1) soit 115 volts efficaces, il faut que la *tension composée* (c'est-à-dire la tension entre fils, par exemple entre F_1 et F_2) soit 200 volts efficaces, c'est-à-dire 115 multiplié par 1,732.

nerait ainsi *trois courants différents avec trois fils* (ce qui, à première vue, semble le comble du paradoxe). Le fil neutre N n'est là que pour parer au déséquilibre des phases (3), c'est-à-dire à la latitude qu'on laisse à l'abonné de n'allumer qu'une ou deux lampes à sa guise, en agissant sur les interrupteurs K_1 , K_2 , K_3 de la figure 24.

Le montage en étoile est, en principe, plus économique que le montage en triangle, car il transporte l'énergie électrique sous une tension plus élevée (200 volts efficaces, au lieu de 115), mais les dangers d'électrocution (§ 31) sont plus grands.

(1) C'est pour obtenir un *nombre rond* (200) pour la tension composée qu'il a été décidé de faire passer la « tension normale » (en continu et en alternatif) de 110 à 115.

(2) Lorsqu'on supprime le fil neutre N, on réunit métalliquement le point O (centre de l'étoile) au sol, c'est-à-dire, par exemple, à la canalisation d'eau.

(3) Lorsque le fil neutre N est supprimé, c'est la canalisation d'eau qui remédie au déséquilibre des phases.

Ce résultat a lieu lorsque les « tensions entre fils » ou *tensions composées* (entre F_1 et F_2 , entre F_2 et F_1 , entre F_2 et F_1) sont égales à 200 volts efficaces (1), c'est-à-dire à 115 multiplié par 1,732 (note 1, page 37).

Lorsque les trois lampes L_1 , L_2 , L_3 (supposées identiques) sont allumées, le courant qui passe dans le fil neutre est nul ; on pourrait supprimer ce fil N (2) et on amè-

23. Passage de l'étoile au triangle. — Il est important de savoir à quel montage de triphasé on a affaire, car il n'est pas toujours possible de passer de l'un à l'autre.

Ainsi, pour l'éclairage, il faut faire bien attention (quand il s'agit de l'étoile, *fig. 25*) de brancher les lampes sur la tension étoilée, c'est-à-dire entre un des fils et le neutre N. Une faute de montage telle que le branchement d'une lampe sur la tension composée (entre F_1 et F_2), ferait passer dans la lampe, non plus 0 ampère efficace 87, mais 1 ampère efficace 51 ($0,87 \times 1,732$). La lampe « survoltée » grillerait, sans parler des plombs placés sur F_1 et sur F_2 , qui risqueraient de « sauter ».

Au contraire, le passage de l'étoile au triangle est avantageux pour les moteurs triphasés, dont la partie fixe (ou stator) comporte trois bobines $A_1 A_2 A_3$ (*fig. 26*). Ces bobines sont



FIG. 26, 27 et 28. — Montages des moteurs sur le triphasé.

La partie fixe (ou stator) des moteurs triphasés (*fig. 26*) comporte trois bobines identiques $A_1 A_2 A_3$. Si on branche ces trois bobines sur la tension étoilée (115 volts efficaces), le courant qui passe (15 amp. eff.) est relativement faible, et le moteur ne fournit qu'une puissance réduite, de deux chevaux dans le cas choisis (*fig. 27*). Mais si on branche les bobines $A_1 A_2 A_3$ sur la tension composée (200 volts efficaces) en coupant le fil neutre, l'intensité est accrue dans le même rapport (26 amp. eff. au lieu de 15), et le moteur a une puissance de six chevaux (*fig. 28*) au lieu de deux.

reproduites schématiquement sur les figures 27 et 28. Si nous disposons du triphasé-étoile (ce qui, en pratique, est toujours le cas), nous avons le choix entre les deux montages :

1^o Le moteur est monté en étoile (*fig. 27*) : chacune des bobines $A_1 A_2 A_3$ est soumise à la tension étoilée de 115 volts efficaces ; le courant sera de 7 ampères si le moteur est de 2 chevaux (15 hectowatts) ;

2^o Mais on peut aussi monter le moteur en triangle (*fig. 28*) sur cette même distribution en étoile. Le fil neutre N est coupé, et chaque bobine $A_1 A_2 A_3$ est soumise à la tension composée

de 200 volts efficaces ($115 \times 1,732$). Le courant sera naturellement accru dans le même rapport (1) et atteindra 12 ampères efficaces ($15 \times 1,732$). Quant à la puissance du moteur, elle augmentera à la fois à cause des volts et à cause des ampères : elle sera multipliée deux fois par 1,732, donc *triplée* : nous aurons alors un moteur de 6 chevaux (45 hectowatts). En définitive, *le même moteur* pourra fonctionner sous deux ré-

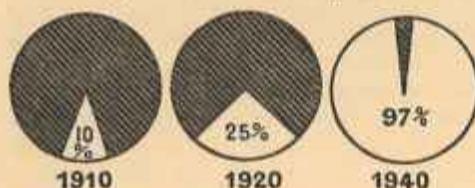


FIG. 29. — Graphique montrant le développement de l'électrification en France.

Les pourcentages sont relatifs au nombre de communes pourvues, à chaque date, de distribution d'énergie électrique.

De plus en plus, le triphasé s'impose, par suite du meilleur rendement de production et de transport, et, aussi, grâce aux surprenantes qualités des moteurs asynchrones (§ 77). L'électrification des campagnes, vaste programme en voie de réalisation (fig. 29), a choisi le triphasé ; et les turboalternateurs triphasés (2) sont sans doute les machines génératrices de l'avenir, celles qui supplanteront toutes les autres (loin des installations de houille blanche, également propices à l'obtention du triphasé).

24. Distinction entre les diverses sortes de courants. —

Dans certains cas, il peut importer à l'abonné de savoir s'il est branché sur du continu ou de l'alternatif.

Le plus simple, c'est d'aller regarder « le groupe de commande », c'est-à-dire l'interrupteur général et le compteur :

- 1° S'il y a quatre fils, c'est du triphasé-étoile ;
- 2° S'il y a trois fils, c'est du triphasé-triangle (3) ;
- 3° S'il n'y a que deux fils, cela peut être du monophasé ou

(1) Les bobines sont prévues pour cette intensité plus forte.

(2) Alternateurs triphasés mus par des turbines à vapeur.

(3) Ou du diphasé avec un fil neutre.

gimes différents, ce qui sera extrêmement avantageux (en particulier pour les applications agricoles).

Il nous a fallu insister assez longuement sur les courants alternatifs — simple et triphasé.

du continu. Les mentions portées sur le compteur lèvent généralement toute espèce de doute (1).

Enfin, il existe plusieurs moyens directs de se rendre compte si le courant qui alimente une lampe est continu ou alternatif. Nous ne décrivons que le suivant, fondé sur l'action d'un champ magnétique sur un courant mobile (§ 5 et fig. 6). Il faut (2)

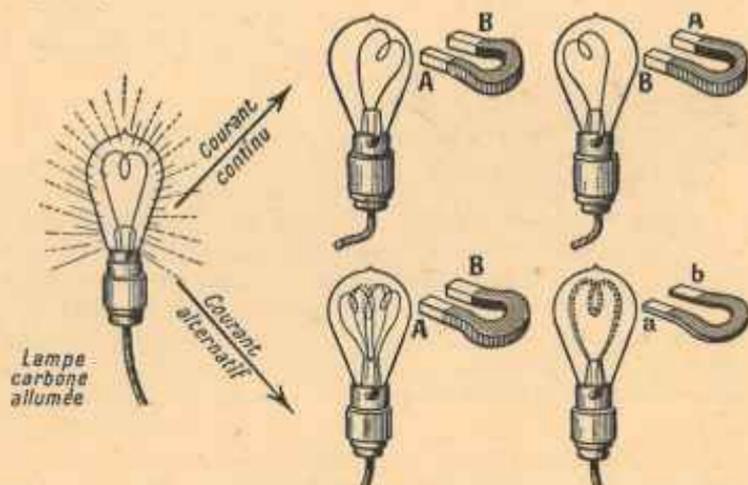


FIG. 30, 31, 32, 33 et 34. — Sommes-nous sur le continu ou sur l'alternatif ?

On allume une lampe à filament de carbone, lequel est peu rigide, puis on approche un fort aimant de pôles A B : 1° en continu, le filament est attiré ou repoussé ; 2° en alternatif, le courant se met à osciller. Si l'aimant est faible, le filament paraît d'un diamètre plus gros lorsqu'on approche l'aimant.

pour cela disposer d'une de ces vieilles lampes à filament de carbone (fig. 30), qui ne servent plus qu'exceptionnellement. On approche alors de cette lampe *allumée* un aimant aussi fort que possible :

a) En continu (fig. 31 et 32), le filament fléchit soit vers l'aimant, soit en sens inverse (suivant la position des pôles A et B de l'aimant, par rapport au sens de circulation des électrons dans le filament) ;

(1) Par exemple, les compteurs sur l'alternatif présentent l'indication : « MONOPHASE » ou encore « 50 PER » (per. signifiant périodes par seconde ou cycles).

(2) Car les filaments métalliques sont fixés d'une façon trop rigide à leurs supports.

b) En alternatif (fig. 33), le filament incandescent se met à osciller, avec la même fréquence que le courant alternatif (50 allers et retours par seconde).

Faisons de plus remarquer que si l'aimant *a b* était très faible, on ne verrait rien en continu, tandis qu'en alternatif

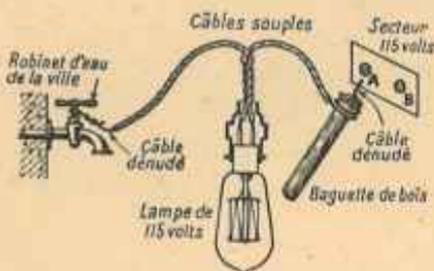


FIG. 35. — Pour rechercher si un des pôles du secteur est à la terre.

On touche avec le câble dénudé de droite la borne A, puis la borne B. 1° Si la lampe ne s'allume pas, aucun pôle n'est à la terre; 2° Si la lampe s'allume quand on touche A, c'est que B est à la terre, et réciproquement.

servir du montage de la figure 35 : on relie une des bornes d'une lampe au sol (par exemple au robinet de la canalisation d'eau de la ville) et on établit le contact entre l'autre borne et le pôle A du secteur : si la lampe s'allume, c'est que le pôle B est à la terre (et inversement).

En général, les distributions en continu et en monophasé n'ont aucun pôle à la terre.

le filament semblerait s'épaissir à l'approche de l'aimant (fig. 34), cette apparence étant due à des oscillations de faible amplitude.

Nous terminerons par une dernière remarque qui peut avoir son intérêt. Certaines distributions (notamment celle de la figure 25) ont un pôle à la terre (le fil neutre N). Pour rechercher quel est le pôle du secteur qui est mis à la terre, on pourra se

Chapitre IV

LES RELATIONS ENTRE ABONNÉ ET SECTEUR

25. Distribution de l'énergie électrique. — Dans l'immense majorité des cas, l'énergie électrique est produite dans des usines qui appartiennent à d'importantes sociétés. Nous dirons quelques mots plus tard (§§ 110-114) sur les stations électriques privées, auxquelles on doit recourir lorsque aucune ligne de distribution ne passe à proximité : ce cas, déjà très rare, deviendra prochainement tout à fait exceptionnel (*fig. 29*); et le lecteur pourra se reporter à ce que nous disons à ce sujet, s'il désire se faire une idée de la façon dont l'énergie électrique prend naissance dans les « centrales » (thermiques et hydrauliques).

La production de l'énergie électrique sera d'autant plus économique, son prix de vente sera d'autant plus avantageux que l'usine sera plus puissante, que sa puissance atteindra un nombre plus considérable de milliers de kilowatts (§ 11). Rappelons-nous, d'autre part (§ 13), que le nombre de watts produits s'obtient en multipliant la tension (en volts) par l'intensité du courant (en ampères). Enfin, il y a avantage à rendre cette intensité aussi minime que possible pour réduire le débit de chaleur (§ 16) dans la ligne de transmission, c'est-à-dire la *perte en ligne*, perte que la compagnie doit faire entrer dans ses frais généraux et qui est finalement supportée par l'ensemble des abonnés.

La conséquence de ces prémisses est la suivante : si les usines doivent fournir de grandes puissances électriques et si l'intensité du courant ne doit pas atteindre des valeurs exagérées, il faut nécessairement que la tension (quotient de la puissance par le courant) soit élevée : les lignes de transmission seront donc à *haute tension*. Ainsi, dans l'électrification des campagnes, on a fixé le choix sur 15 000 volts.

Une telle tension n'est pas directement utilisable : non seulement les canalisations et les appareils ne sont pas prévus pour la supporter, mais les usagers seraient sous la continuelle menace d'une électrocution fatalement mortelle. C'est ici qu'intervient la supériorité du courant alternatif (et en particulier du triphasé), car, avec l'alternatif, il est très facile de modifier la tension au gré de ses désirs. Le réseau de transport sera donc à 15 000 volts, par exemple, et chaque réseau de répartition, desservant un certain nombre d'abonnés groupés, aura une tension de 115 volts ou de 230 volts (1).

Les appareils abaisseurs de tension (ou « dévolteurs ») sont appelés des *transformateurs* : ils ne comportent aucun organe mobile, n'exigent aucuns frais d'entretien et fonctionnent avec un excellent rendement. Nous en reparlerons un peu plus longuement à propos des avertisseurs électriques (§ 83). Qu'il nous suffise d'indiquer ici que, pour le monophasé (2), ils sont formés de deux enroulements isolés l'un par rapport à l'autre : l'enroulement primaire reçoit la haute tension et l'enroulement secondaire restitue la basse tension. Comme ces deux enroulements sont isolés, les électrons de l'un ne sautent pas dans l'autre, et l'énergie est transmise sous forme d'ondes électromagnétiques, assez comparables à celles qui partent d'une antenne d'émission de T. S. F. pour atteindre un poste d'amateur.

À la campagne, les postes de transformation sont souvent établis sur poteaux, à l'entrée d'un bourg ou d'une agglomération. Dans les villes branchées sur un secteur alternatif, les postes de transformation sont disposés dans des cabines fermées, portant la mention : « Défense d'entrer; danger de mort. » Chaque pâté de maisons ou même chaque immeuble important possède un transformateur (3).

Les grands immeubles sont occupés par un certain nombre

(1) De 115-200 volts ou de 230-400 volts s'il s'agit du triphasé (§ 22).

(2) En triphasé, il faut naturellement deux enroulements par phase, soit en tout six enroulements (voisins deux à deux).

(3) Dans les villes qui sont encore alimentées par du continu, il existe aussi des abaisseurs de tension, que l'on nomme *sous-stations* : ce sont, en fait, de petites usines, qui comprennent des machines et qui exigent la présence d'ouvriers. Cette complication est très défavorable au maintien des réseaux à courant continu.



de locataires : l'énergie électrique leur est distribuée par un terme d'intermédiaire d'une ligne commune, de forte section, appelée *colonne montante* (1) ; cette ligne comprend deux fils en continu et en monophasé, trois fils en triphasé. Chaque locataire est branché sur la colonne montante, et son branchement traverse d'abord un « coffret », où se trouvent des fusibles de protection, placés sous scellés et vulgairement appelés « plombs du secteur » : il est interdit à l'abonné de toucher à ce coffret ; lorsque, par suite d'une circonstance dont nous allons parler (§ 26), les plombs du secteur ont sauté, l'abonné doit prévenir la compagnie, qui enverra un employé, seul qualifié pour les remplacer.

A la sortie du coffret, le branchement de l'abonné pénètre dans son appartement et arrive immédiatement au *groupe de commande*.

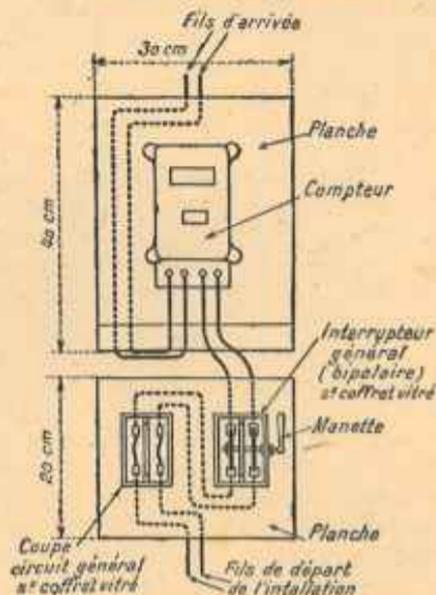


FIG. 36. — Groupe général de commande.

Les trois appareils sont placés sur deux planches de chêne, éloignées de la paroi à laquelle elles sont fixées. On branche successivement le compteur, puis l'interrupteur général, et enfin le coupe-circuit bipolaire. Grâce à cet ordre, le coupe-circuit n'est plus sous tension lorsqu'on tourne la manette (d'où remplacement commode des fusibles).

26. Groupe de commande.

— On désigne sous ce nom le tableau sur lequel on dispose l'interrupteur général et le coupe-circuit général, ces deux appareils étant précédés par le compteur (fig. 36).

Nous reviendrons plus loin sur les interrupteurs (§ 42) et les fusibles (§ 35). Indiquons, pour le moment, que les appareils

(1) Dans un grand nombre d'immeubles, la colonne montante a été posée par un entrepreneur particulier qui exige de chaque locataire une redevance trimestrielle.

du groupe de commande doivent être placés sous coffret vitré; ils doivent être bipolaires — ou tripolaires en triphasé —, c'est-à-dire qu'ils doivent intéresser les deux fils de ligne : l'interrupteur (à rupture brusque) porte deux barrettes de sectionnement et le coupe-circuit est formé de deux fusibles; une cloison de porcelaine sépare les pièces métalliques sous tension (1).

Les diamètres des fusibles doivent être appropriés à la puissance utilisable dans l'installation. Si la tension de distribution est 115 volts, on peut prendre :

PUISSANCE DU COMPTEUR	COURANT MAXIMUM	DIAMÈTRE DU FUSIBLE
3 hW	2 A 7	0 mm 8
5 hW	4 A 5	1 mm 1
30 hW	27 A	3 mm 5

L'abonné a tout intérêt à ne pas exagérer le diamètre des fils du coupe-circuit général, puisqu'il peut sans difficulté remplacer les plombs qui ont sauté. Un diamètre excessif aurait pour effet d'occasionner, en cas de court-circuit, la fusion des plombs du secteur (§ 25), ce qui priverait l'usager de l'énergie électrique pendant tout le temps nécessaire à la venue d'un employé de la compagnie. Ajoutons que cet employé, en recherchant les causes du dérangement, visitera l'ensemble de l'installation et pourra exiger la réfection de certains détails, la suppression de câbles souples, l'amélioration de l'isolement (§ 17), ce qui risque d'occasionner des complications supplémentaires.

27. Compteur d'électricité. — Les compteurs d'électricité sont des appareils automatiques qui servent à mesurer, au bout d'un laps de temps déterminé (deux mois par exemple), l'énergie électrique consommée par l'abonné et transformée, à son gré, en lumière, en chaleur ou en travail mécanique.

Dans les installations domestiques, c'est la compagnie d'électricité qui loue le compteur; à elle incombent le plombage,

(1) C'est là que se place le disjoncteur de branchement (p. 53).

l'entretien et la vérification (1). Le compteur porte d'une bien apparente ses caractéristiques techniques : tension, intensité maximum, fréquence (en courant alternatif) et constante d'étalonnage (2). Le compteur étant un appareil assez délicat, on le mettra à l'abri des poussières (au moyen d'un couvercle hermétique), des trépidations, des chocs et de l'humidité; c'est ainsi que, dans les cuisines, on l'éloignera de la cheminée et de l'évier. Il sera fixé à une hauteur commode pour la lecture.

L'abonné ne doit jamais y toucher. Les modèles de compteurs sont nombreux. Pour en faire comprendre le principe, nous décrivons sommairement un type de compteur, très employé en continu et pouvant servir en alternatif (fig. 37). Un compteur est, en somme, un petit moteur électrique, qui repose sur l'action d'un champ magnétique sur un courant mobile (fig. 6) : le champ magnétique est produit

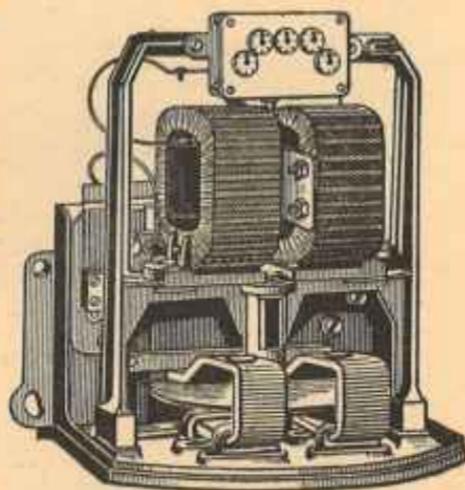


FIG. 37. — Compteur électrique.

par une bobine fixe (fig. 38) qui se trouve branchée (en série) sur le circuit d'utilisation (ou circuit des ampères); au contraire, le courant mobile est un petit induit directement placé aux bornes du secteur (en interposant une résistance additionnelle, qui permet de réduire l'intensité à une valeur appropriée); comme dans les moteurs (§ 70), le courant est amené par un collecteur sur lequel frottent deux balais.

(1) Quand un abonné réclame une vérification de son compteur, les frais de cette vérification lui sont imputés si le compteur est reconnu exact; c'est, au contraire, la Compagnie qui supporte les frais si le compteur est reconnu inexact.

(2) C'est l'énergie (en watts-heure) qui a été dépensée lorsque le disque a tourné d'un seul tour.

Le compteur va tourner d'autant plus vite :

1^o Que le champ magnétique sera plus considérable, c'est-à-dire que l'intensité sera plus forte dans le circuit des ampères (en particulier, le compteur ne tournera pas si tous les interrupteurs de l'installation sont coupés) ;

2^o Que le courant dans l'induit sera plus intense, c'est-à-dire que la tension du secteur sera plus grande (d'où le nom de « circuit des volts » donné

à la dérivation qui comprend la bobine tournante).

La vitesse de rotation, étant proportionnelle à la fois aux ampères qui passent et aux volts aux bornes, donnera donc directement le nombre de watts consommés à chaque instant. Si, maintenant, au moyen d'une minuterie, on *totalise* les tours dont le compteur a tourné au bout d'un certain temps, on pourra lire l'énergie totale qui a été utilisée par l'abonné : il suffira, pour cela, de la minuterie en

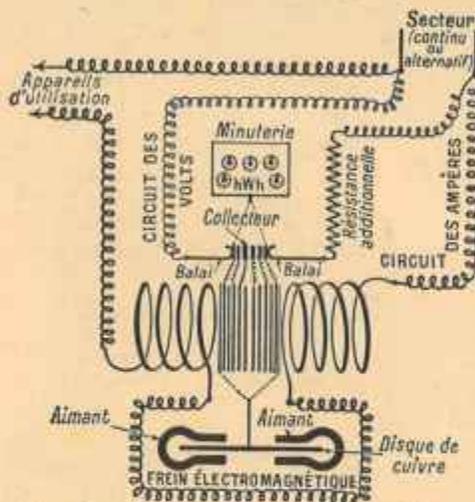


FIG. 38. — Schéma d'un compteur électrique.

Cet appareil se compose d'une bobine fixe, à gros fil, placée dans le circuit d'utilisation (circuit des ampères). À l'intérieur se trouve un induit mobile, disposé en dérivation sur le secteur (circuit des volts). La minuterie est graduée empiriquement en hectowatts-heure. Le frein électromagnétique (disque de cuivre tournant entre deux aimants en fer à cheval) empêche le petit moteur de s'emballer et sert aussi à parfaire le réglage (voir fig. 37).

de graduer empiriquement les cadrans hectowatts-heure.

La lecture des compteurs peut donner lieu à une erreur : lorsque le chiffre des unités (par exemple) est compris entre 5 et 0, il faut faire attention au chiffre des dizaines (fig. 39), qui est ici compris entre 2 et 3 : même si l'aiguille des dizaines recouvre le chiffre 3 (ou presque), c'est *vingt-huit* (hectowatts-heure) et non trente-huit qu'il faut lire. La même remarque



s'applique, naturellement, aux autres cadrans (1). Ajoutons d'ailleurs, qu'une erreur de lecture faite sur une période n'est pas définitive, parce que, le mois suivant, ce qui a été compté en trop vient en déduction, et inversement.

Connaissant l'énergie utilisée pendant deux mois par exemple, une simple multiplication fournira la somme dont l'abonné est débiteur. Supposons que, le 24 janvier, le compteur marque 3 087 hWh et que, le 21 mars, il indique 3 176 hWh; cela représente une consommation de 89 hWh. Si l'hectowatt-heure est tarifé 25 centimes, la quittance atteindra 22 fr. 25 (non compris les redevances pour location de compteur, de branchement, ... dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer).

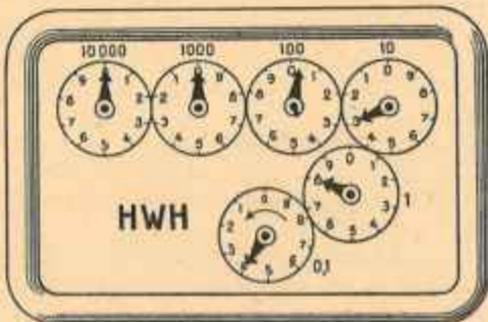


FIG. 39. — Attention aux erreurs de lecture.
Un instant de réflexion montrera qu'il faut lire vingt-huit (hectowatts-heure) et non trente-huit.

28. Tarifications (à la ville). — De même que tous les produits commerciaux, l'énergie électrique est soumise à la loi de l'offre et de la demande : puisque, pour l'usager moyen, l'emploi prépondérant de cette énergie est sa transformation en lumière, les compagnies sont contraintes à une surproduction pendant la *pointe*, qui est surtout marquée en hiver, entre 16 et 22 heures. L'idéal d'une usine étant évidemment de travailler à puissance constante, il en résulte les remarques suivantes :

- 1° La lumière est chère, parce que tous les abonnés en ont besoin au même moment, d'où une surcharge du réseau;
- 2° La force motrice pourra être meilleur marché, parce qu'on

(1) Toute erreur de lecture est évitée lorsque la minuterie à aiguilles, décrite ci-dessus, est remplacée (ce qui est encore rarement le cas) par une minuterie à rouleaux (ou à tambour), qui offre l'apparence du totalisateur kilométrique d'une auto (voir fig. 40).

l'utilise — en majeure partie tout au moins — en dehors des heures de pointe;

3° Toute application de l'électricité qui aura pour effet de combler les heures creuses pourra bénéficier de conditions excellentes.

A Paris, par exemple, si l'abonné dispose d'appareils ménagers, il obtient, pour l'ensemble de son installation (éclairage compris), l'application d'un tarif dégressif (1) :

a) *Première tranche* (tarif de pointe), de l'ordre de 25 centimes l'hWh (1942);

b) *Deuxième tranche* (tarif de jour), environ 60 pour 100 de a;

c) *Troisième tranche* (tarif de nuit), environ 20 pour 100 de a.

On peut également demander le *triple tarif* (pour développer le chauffage par accumulation et la cuisine électrique) :

	NUIT	JOUR	POINTE
HIVER 1 ^{er} oct.-31 mars	18 h - 7 h et 11 h - 13 h 30	7 h - 11 h et 13 h 30 - 15 h	15 h - 18 h
ÉTÉ 1 ^{er} avr.-31 sept.	18 h - 7 h et 11 h - 13 h 30	7 h - 11 h et 13 h 30 - 18 h	

Ce tarif n'est pas applicable à l'éclairage; il doit comporter un circuit spécial (en gros fils), généralement à 230 volts. Le compteur comporte trois cadrans; il est commandé par une horloge change-tarif (fig. 40); les deux appareils sont loués par le secteur. L'horloge peut se remonter à la main ou bien elle peut être à remontage électrique (§ 91) : elle possède un disque gradué de 1 à 24, qui passe devant un repère. A chacune des heures indiquées ci-dessus, l'horloge, par un système d'élec-

(1) Dont les conditions sont variables avec le nombre des pièces de l'appartement.



troaimants, modifie brusquement le courant dans le compteur de telle sorte qu'il y ait changement du cadran en fonction

Nous reviendrons sur ce point (§ 67) : le chauffage général et la cuisine nécessitent un second circuit, qui coûte toujours très cher à établir (2). Indiquons, toutefois, que le réseau de distribution, pressé d'étendre et d'uniformiser sa production, consent fréquemment à prendre les frais d'installation à sa charge, en ne prélevant sur l'abonné qu'une redevance men-

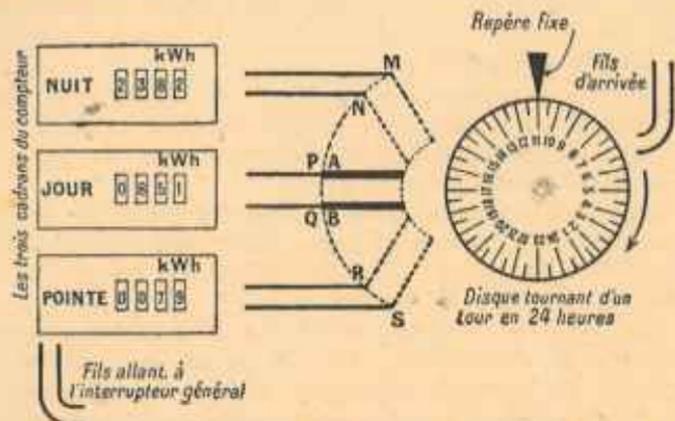


Fig. 40. — Principe de l'horloge change-tarif.

Il est 11 heures; jusqu'à cet instant le tarif de jour était applicable et le courant passait suivant AP, BQ, faisant tourner le cadran « jour » du compteur. Entre 11 heures et 13 h. 30, le tarif de nuit s'applique; par un jeu d'électroaimants déclenché par l'horloge et non représenté sur la figure, les deux tiges métalliques A B vont brusquement sauter devant M N et le courant fera tourner le cadran « nuit » jusqu'au prochain changement de tarif.

suelle. Il en est résulté un notable développement du chauffage et de la cuisine par l'électricité dans les appartements des villes.

29. Tarifications (à la campagne). — Encore que les principes directeurs restent les mêmes qu'à la ville, il est impossible de donner des précisions analogues, car le prix de l'hectowatt-heure varie du simple au quadruple suivant la région : 15 cen-

(1) A l'horloge change-tarif peut être associée une « horloge de blocage », qui coupe automatiquement le courant dès que le tarif de nuit cesse de s'appliquer.

(2) Un certain nombre de nouveaux immeubles prévoient deux canalisations électriques : l'une dite « éclairage », l'autre dite « autres usages ».

times dans les pays de houille blanche (Jura, Alpes, Pyrénées); 50 centimes en plaine (Manche, Loir-et-Cher,...) [1].

1° On a songé à un *tarif forfaitaire*, l'abonné étant astreint à ne pas dépasser une certaine puissance (ce dont le secteur s'assure en adjoignant à l'installation un limiteur automatique d'intensité). Mais ce système est à peu près abandonné, car il conduisait à d'énormes gaspillages;

2° En général, l'agriculteur paie une redevance proportionnelle aux indications de son compteur. Le taux unitaire comprend souvent un prix de base et un terme correctif, qui varie avec l'index économique;

3° Dans la *tarification binôme*, le prix de l'énergie électrique comprend, en outre, une prime fixe, liée à l'importance de l'installation (nombre des lampes, nombre et puissance des appareils domestiques et des moteurs);

4° Enfin un dernier système consiste à imposer aux usagers le paiement d'une redevance fixe. Cette somme vient ensuite en déduction du prix de l'énergie consommée, lorsque celle-ci dépasse le minimum de consommation.

Qu'il s'agisse d'électricité rurale ou d'électricité citadine, les intérêts des abonnés sont liés aux intérêts des secteurs. La tarification de l'énergie électrique est loin d'avoir progressé en proportion de la dévalorisation du franc; et, malgré quelques difficultés rencontrées, on s'achemine vers une utilisation de plus en plus rationnelle de l'énergie électrique.

30. Abonnement au secteur; disjoncteur de branchement. — Lorsqu'on veut « installer l'électricité » chez soi, la première démarche à faire consiste à demander, sur formule spéciale fournie par le secteur, un contrat ou *police d'abonnement* : un de ses exemplaires restera, après signature, entre les mains de l'abonné, l'autre exemplaire à la compagnie.

Les règlements sont élaborés d'après les arrêtés préfectoraux et contiennent notamment les prix de vente de l'énergie électrique. Les points essentiels, sur lesquels nous insistons chemin faisant, sont rappelés dans les polices, ainsi que dans les « livrets de consommation d'électricité », que la compagnie fournit à

(1) Dans les départements côtiers, les tarifs baisseront certainement si l'on met au point les centrales *marémotrices* (houille bleue).



l'abonné et sur lesquels les contrôleurs inscrivent tous les mois la consommation en hectowatts-heure.

A Paris (1938), plus d'un million d'abonnés consumaient près d'un milliard de kilowatts-heure.

La police d'abonnement prévoit la puissance de l'installation, et, par suite, le modèle du compteur qui sera fourni en location. On admet, en général, rien que pour l'éclairage, entre 6 et 10 watts par mètre carré pour les pièces d'habitations modestes, entre 10 et 15 watts par mètre carré dans les appartements plus luxueux. Ainsi, une pièce de 20 mètres carrés de surface de plancher intervient pour une puissance comprise entre 2 et 3 hW. Il convient de ne pas oublier que les appareils ménagers, qui rendent de si grands services, absorbent beaucoup d'énergie et doivent pouvoir fonctionner le soir sans qu'on soit contraint de supprimer l'éclairage. A titre d'indication, on peut compter qu'on fait largement les choses en choisissant un compteur de 10 hW pour un appartement de quatre pièces principales (sans chauffe-eau à accumulation, ni cuisine électrique).

Ce n'est que lorsque le contrat est signé par les deux parties que la mise en service de l'installation peut s'effectuer. D'une manière générale, les canalisations et les appareils doivent être posés par un professionnel sérieux. Néanmoins, il importe à l'usager de connaître son installation dans ses grandes lignes, pour l'utiliser le mieux possible et pour remédier aux pannes les plus fréquentes.

Remarque. — Comme les appareils d'un appartement ne sont pas tous employés en même temps, la puissance souscrite est toujours très inférieure à la puissance installée. Il s'ensuit que, dans certains cas, une surcharge provoque la fusion des « plombs du secteur » (p. 64). On y remédie en disposant, sur le groupe de commande (fig. 36), un *disjoncteur bipolaire de branchement*, qui coupe le courant, dès qu'il atteint une valeur excessive. Cet appareil a les dimensions d'un compteur et peut être prévu pour des puissances supérieures à 3 hW : il porte un voyant (qui laisse apparaître les mots MARCHE et ARRÊT), un gros bouton-poussoir jaune, sur lequel on appuie pour la marche, un petit bouton-poussoir rouge pour l'arrêt. Il remplace le coupe-circuit général (p. 45) : il suffit de rétablir le courant, après avoir supprimé la cause de surcharge ou le court-circuit accidentel.



Chapitre V

LES DANGERS DE L'ÉLECTRICITÉ

31. **Dangers d'électrocution.** — Avant de passer en revue les multiples applications de l'énergie électrique et, même, avant d'examiner les principes qui président à une installation satisfaisante, il convient de mettre l'abonné en garde contre les deux sortes de dangers qui le menacent :

- 1^o Les accidents de personnes (électrocution);
- 2^o Les accidents matériels (incendie).

On conçoit sans peine que les accidents de personnes aient augmenté en proportion du développement de l'énergie élec-

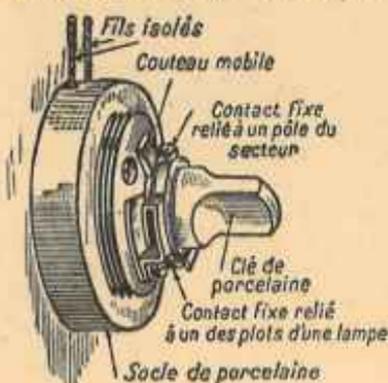


FIG. 41. — Danger des interrupteurs, même unipolaires.

Bien que les deux contacts fixes puissent être réunis directement par le couteau mobile (quand on allume la lampe), on reçoit bel et bien toute la décharge du secteur quand on touche simultanément ces deux contacts (la lampe étant éteinte).

trique, d'autant plus que ces progrès ont été beaucoup plus rapides que l'éducation du public. L'électrocution se produit lorsque le corps humain est traversé par un courant d'intensité suffisante : il suffit pour cela que deux parties du corps se trouvent en contact avec deux conducteurs sous tension. L'intensité est dangereuse dès qu'elle atteint quelques centièmes d'ampère; le risque d'électrocution est, en général, d'autant plus considérable que la tension est plus forte (1) et que la surface des contacts est plus grande; la na-

(1) Faisons toutefois remarquer que le corps humain supporte bien des courants intenses de très haute fréquence, par exemple 100 000 kilocycles (« numéros » de music-hall).



ture des contacts intervient aussi au premier chef : en particulier, l'humidité assure de très bons contacts (danger de la transpiration, des carrelages humides, des semelles mouillées, des jets liquides, possibilité d'électrocution quand on prend un bain,...). Il convient aussi de se souvenir que certains secteurs mettent un des pôles à la terre (§ 24) : on risque alors de recevoir la décharge en touchant l'autre pôle, si les pieds de la personne ne sont pas suffisamment isolés du sol ou, encore, si elle touche d'une main un pôle du réseau et de l'autre un robinet d'eau, un tuyau de gaz, etc. Enfin, les conséquences tragiques dépendent de l'organe intéressé : un courant qui ne produirait que des brûlures superficielles dans le bras ou le mollet provoque des lésions très graves dans le cerveau.

Sans doute, les canalisations à haute tension ont des effets foudroyants, et il est absurde de mépriser les petites plaques « Danger de mort » apposées par les compagnies. Toutefois, ces canalisations ne sont jamais à la portée du public. Les statistiques montrent que la basse tension des secteurs d'éclairage cause beaucoup plus d'accidents que la haute tension, précisément parce qu'on ne se méfie pas suffisamment de la première.

Un calcul très simple montre qu'il en est bien ainsi. La résistance électrique (§ 17) du corps humain est d'environ 5 000 ohms ; c'est environ celle de quarante lampes de 100 watts montées en série. S'il s'établit entre deux points de l'épiderme une tension de 115 volts, l'intensité du courant qui traversera l'organisme s'obtient en divisant 115 par 5 000, soit un peu plus de 0 ampère 02 : la secousse est désagréable, et elle est, comme nous l'avons vu, à la limite des intensités dangereuses, surtout si elle se prolonge au-delà d'une fraction de seconde. Le courant alternatif est même plus redoutable que le continu, car il est accompagné d'une contracture des muscles (ou tétanisation) qui empêche de lâcher le câble saisi par inadvertance.

Il faut mettre en garde le public contre un raisonnement erroné qui pourrait venir à l'idée d'un profane des lois du courant électrique. Considérons (fig. 41) un interrupteur unipolaire, dont le couvercle de porcelaine a été dévissé : l'un des contacts fixes (à mâchoires) communique à un pôle du secteur, l'autre contact fixe est réuni à un des plots d'une lampe à incandescence. Et voici ce qu'on serait tenté de dire : « Puisque les deux contacts fixes peuvent être réunis *directement* par le couteau

mobile (et c'est ce qu'on fait pour allumer la lampe), c'est que ces deux contacts ne sont pas sous tension; » on en conclurait qu'on peut toucher en même temps les deux contacts fixes. *C'est là une grave erreur* : les deux contacts fixes sont sous la tension habituelle de 115 volts. Voyons alors ce qui se passe quand on interpose entre eux le corps humain : la résistance d'une lampe étant de 100 ohms par exemple, nous aurons placé sur 115 volts une résistance totale de 5 000 ohms (corps humain) + 100 ohms (lampe) ; le courant s'obtiendra, comme précédemment, en divisant la tension par la résistance, soit 115 par 5 100, ce qui redonne à nouveau à peu près 0 ampère 02. Il est aussi dangereux de toucher simultanément les deux contacts fixes d'un interrupteur monopolaire que de toucher simultanément les deux bornes d'arrivée du courant (par exemple celles de la figure 36).

Concluons donc que les secteurs d'éclairage (et de force motrice) présentent d'indéniables dangers vis-à-vis desquels il convient de prendre des précautions rigoureuses (§ 32). Ce qui est moins connu, c'est que les nouvelles installations téléphoniques (à batterie centrale) présentent des tensions atteignant 85 volts, qui sont susceptibles d'occasionner des accidents. Enfin, les circuits de sonnerie — lorsqu'ils sont alimentés par des transformateurs (§ 83) — sont responsables d'électrocutions mortelles (contacts accidentels et défauts d'isolement).

32. Précautions à prendre. — Pour les raisons qui viennent d'être énoncées :

1° Il faut éviter, dans les endroits humides (caves, jardins, écuries, étables, garages,...), l'emploi des abat-jour accessibles en métal; dans ces mêmes endroits, les lampes baladeuses (fig. 84) sont une source perpétuelle de danger. On risque d'être électrocuté si les chaussures sont humides et si, en même temps, l'abat-jour ou l'armature de protection communique avec un des pôles du secteur;

2° Une bonne installation ne doit pas permettre qu'on puisse toucher à la fois un robinet d'eau et un interrupteur, un robinet de gaz et un interrupteur. En effet, ayant la main (souvent mouillée) sur un robinet, vous voulez allumer une lampe de l'autre main : si l'interrupteur est mal isolé, le courant électrique vous passe à travers le corps;

3° Il est indispensable que, d'une baignoire ou d'un appareil à douche, on ne puisse toucher un interrupteur, même de sonnerie : il peut, en effet, arriver qu'il y ait contact entre le circuit de sonnerie et les fils de lumière (quel que soit le moyen par lequel la sonnerie est alimentée). Les règlements prescrivent l'utilisation d'un appareil de contact à barillet (fig. 42), commandé par un cordon isolant ;

4° Enfin, et ce point est très important, il est nécessaire, dès qu'on constate un dérangement, de supprimer la tension au moyen de l'interrupteur général bipolaire (fig. 36), avant de commencer une réparation quelconque : resserrage d'une vis sur un interrupteur, remplacement d'un fusible — sauf naturellement si le coupe-circuit est à tabatière (fig. 44) —, etc. Les lampes à incandescence donnent souvent lieu à des accidents : on peut recevoir une décharge en touchant l'ampoule humide d'une lampe à incandescence et plusieurs personnes sont électrocutées annuellement pour avoir mis le doigt dans le culot d'une ampoule brisée, en voulant extraire ce culot de la douille, sans avoir, au préalable, « coupé le courant ».



FIG. 42. — Pour éviter l'électrocution dans les salles de bains.

33. Instructions officielles. — « Tout contact avec des conducteurs électriques est dangereux et peut provoquer, dans des conditions spéciales, une électrocution.

« Dans les caves, cuisines, salles de bains, dans les locaux dont le sol est humide ou bon conducteur de l'électricité, évitez l'usage des lampes portatives et, d'une manière générale, des appareils électriques mobiles.

« Dans tous les cas, ayez toujours soin, dans ces locaux, avant de toucher un conducteur, une lampe, un appareil électrique, de vous isoler du sol par un tapis, un escabeau, un tabouret, une chaise de bois.

« En prenant un conducteur, une lampe, un appareil électrique, faites attention à ne pas entrer en contact, en même

Il convient d'employer des contacts à barillet manœuvrés à distance par l'intermédiaire d'un cordon isolant et d'une poignée de porcelaine.

temps, avec des pièces métalliques reliées à la terre, des robinets, des radiateurs, des canalisations d'eau, de gaz, de vapeur, ou encore avec l'eau d'un évier, d'un lavabo, d'une baignoire. »

Secours à donner aux personnes victimes d'un contact accidentel avec des conducteurs électriques. — « Soustraire le plus rapidement possible la victime aux effets du courant en se conformant rigoureusement aux prescriptions ci-dessous indiquées pour ne pas s'exposer personnellement au danger. (L'humidité rend le sauvetage particulièrement dangereux.)

« Premier cas. (Accident survenu dans une installation particulière domestique par contact avec les fils, les fusibles, les interrupteurs ou les supports des lampes.)

« Écarter immédiatement du courant la victime avec un bâton ou un linge sec, ou bien supprimer le courant au moyen de l'interrupteur général (noter que le plus souvent l'interrupteur particulier ne supprime pas complètement la tension). Si ces opérations sont impossibles, couper les fils conducteurs de part et d'autre de la victime, en s'entourant les mains avec des gants, des morceaux d'étoffe; ou en s'isolant de la terre, en se plaçant sur une chaise, par exemple.

« Dans l'exécution de ces manœuvres sur les conducteurs électriques, opérer toujours avec une seule main.

« Second cas. (Accident survenu dans une distribution quelconque en dehors d'une installation particulière domestique par un contact avec un conducteur.)

« S'efforcer de faire couper le courant le plus rapidement possible, en prévenant l'usine par téléphone, ou, à défaut, par un mode de locomotion rapide (automobile, bicyclette, etc., etc.). Si un agent de l'entreprise d'électricité se trouve à proximité, le prévenir en même temps.

« *Ne pas intervenir avant que la tension soit supprimée.*

« Pendant que cette opération s'effectue :

« Écarter la foule du lieu de l'accident (se méfier de la chute des fils);

« Prévenir un médecin;

« Si la victime est suspendue, amortir préventivement sa chute en disposant sur le sol : matelas, bottes de paille, etc.;

« Préparer les moyens d'atteindre la victime (cordes, échelles, etc.).

SECOURS AUX ÉLECTROCUTÉS



« Dès que l'on sera avisé de l'arrêt du courant, écarter le fil de la victime, ou, si elle est suspendue, s'élever jusqu'à elle, la descendre sur le sol. »

Premiers soins à donner en attendant l'arrivée du médecin :

« Donner à la victime, dès qu'elle a été soustraite aux effets

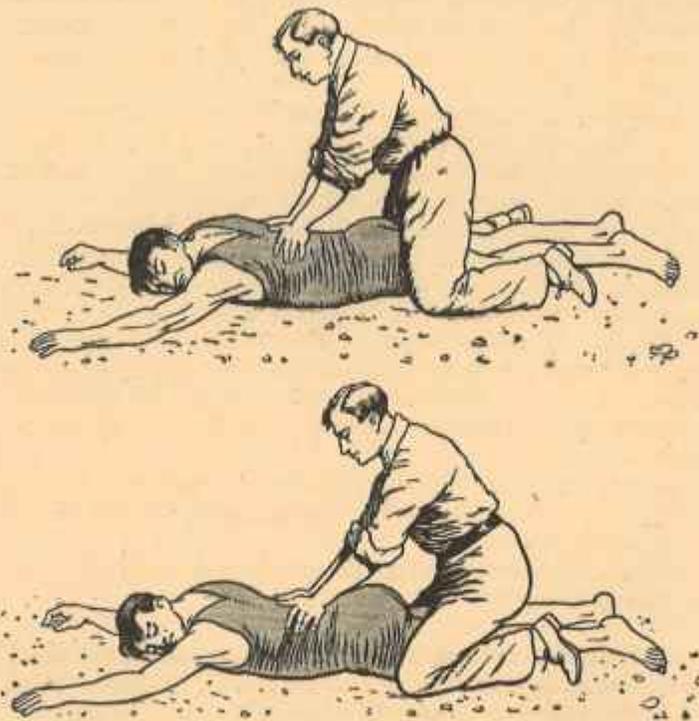


FIG. 43. — Pratique de la respiration artificielle (méthode Schaefer).

Un électrocuté risque de mourir par asphyxie (comme un noyé). Les deux temps de la respiration artificielle doivent être répétés très longtemps, à raison de quinze pressions (gravure du haut) et de quinze relâchements (gravure du bas) par minute.

du courant, les soins ci-après indiqués, même dans le cas où elle présenterait les apparences de la mort.

« Transporter d'abord la victime dans un local aéré où on ne conservera qu'un petit nombre d'aides, trois ou quatre, les autres personnes étant écartées.

« Desserrer les vêtements et s'efforcer, le plus rapidement possible, de rétablir la respiration et la circulation.

« Pour rétablir la respiration, on doit avoir recours à la respiration artificielle.

« Chercher concurremment à ramener la circulation, en frictionnant la surface du corps, en flagellant le tronc avec les mains ou avec des serviettes mouillées, en jetant de temps en temps de l'eau froide sur la figure, en faisant respirer de l'ammoniac ou du vinaigre. »

Méthode de la respiration artificielle (Schæfer, d'Édimbourg).

« Coucher la victime sur le ventre, les bras étendus le long de la tête. Le sauveteur se place à genoux, à cheval sur la victime, de manière à pouvoir s'asseoir sur ses mollets; il étend les bras et pose les mains ouvertes sur le dos du sujet au niveau des dernières côtes, les pouces se touchant presque. Il appuie progressivement et de tout son poids sur le thorax, de manière à provoquer l'expiration » (fig. 43), « puis il cesse de presser tout en laissant ses mains en place : l'inspiration se produit alors par l'élasticité des côtes et de l'abdomen. Le sauveteur recommence les mêmes pressions et continue ainsi à raison d'une quinzaine de pressions par minute, réglées sur sa propre respiration.

« Ces mouvements doivent être répétés jusqu'au rétablissement de la respiration naturelle, rétablissement qui peut demander plusieurs heures.

« N'abandonnez jamais un électrocuté sans avoir des signes certains de sa mort. »

34. Causes d'échauffement exagéré d'une installation.

— Ce sont maintenant les accidents matériels (dangers d'incendie) qui vont retenir notre attention. Mais, avant de passer en revue les appareils de sécurité, examinons rapidement les diverses causes d'échauffement, en nous souvenant de ce que nous avons appris sur la chaleur dégagée par un courant électrique (§ 16).

C'est à trois causes principales que l'on peut ramener l'élévation exagérée de température des installations électriques.

1^o Le *court-circuit* franc. On désigne sous ce terme la réunion accidentelle, par une pièce métallique (de résistance infime), de deux fils sous tension. Fixons les idées par un exemple simple



et précis : supposons que les deux pôles du secteur se trouvent reliés par un fil de 2 millimètres de diamètre et de 2 centimètres de longueur. Un fil de ce calibre est prévu pour laisser passer normalement 15 ampères et sa résistance au kilomètre est de 5 ohms, soit 5 millièmes d'ohm au mètre, et, par suite, un dix-millième d'ohm pour notre longueur de 2 centimètres. Eh bien ! d'après un petit calcul que nous avons déjà indiqué (§ 31), on obtiendra l'intensité qui passe en divisant la tension (1) par la résistance : en divisant 115 par 0,0001, on trouverait plus d'un million d'ampères, c'est-à-dire une intensité 100 000 fois trop forte (2)... Les isolants des canalisations prendraient feu et, même, les génératrices de l'usine seraient grillées; on conçoit donc la *nécessité absolue* des appareils de protection (§ 35).

Nous rencontrons ici un nouvel aspect du danger qui se présente quand on commet l'imprudence d'effectuer une réparation (jonction de fils, serrage de vis,...) sans supprimer la tension : on risque à chaque instant de provoquer un court-circuit franc par le tournevis ou les pinces universelles (*fig. 75*, p. 85).

Les cas les plus fréquents de courts-circuits sont ceux qui se produisent spontanément, par suite du chevauchement de deux fils mal isolés ou de la détérioration de l'isolant de deux fils adjacents dans un endroit humide, ou encore aux endroits où des pièces métalliques sous tension sont obligatoirement très rapprochées (*fig. 60*, p. 75) : douilles des lampes, bornes des appareils ménagers, parties fixes des prises de courant (bipolaires), etc. Au contraire, les interrupteurs unipolaires ne donneront jamais lieu à des courts-circuits : une réunion directe des deux contacts (*fig. 41*) aura pour simple effet d'allumer la lampe que l'interrupteur commande (*fig. 58*, p. 73), tandis que le desserrage d'un fil se bornera à rendre l'allumage impossible;

2^o Seconde cause d'échauffement exagéré : la *surcharge* d'une ligne. On est parfois amené à faire passer dans une canalisation plus de courant que celui pour lequel elle a été prévue : c'est ce qui a lieu quand on augmente progressivement le nombre des lampes et surtout lorsqu'on ajoute à une installation existante une prise de courant destinée à faire fonctionner un fer à repasser ou un radiateur, appareils qui consomment beau-

(1) Que nous supposerons invariable (pour simplifier).

(2) Et un dégagement de chaleur des milliards de fois trop considérable !

coup plus de puissance électrique que les lampes (§ 35) et qui, par suite, laissent passer un courant plus intense.

Il est donc recommandable, quand on augmente le nombre des appareils utilisés, de faire vérifier le calibre de la canalisation ancienne par un électricien sérieux et de modifier en conséquence le diamètre des fusibles (§ 35);

3° La dernière cause d'échauffement est certainement plus rare, mais elle est plus redoutable, car, à l'inverse des deux premières (qui correspondent à un échauffement général), elle a des effets *localisés*, que ne combattent pas les appareils de protection : il s'agit des *mauvais contacts*.

Ce cas se présente soit à la jonction de deux fils, soit au voisinage des interrupteurs unipolaires. Les fils au contact ont pu se couvrir de vert-de-gris ou une vis s'est desserrée (par suite des dilatations et contractions qui accompagnent les variations de température ou par suite des vibrations mécaniques que cause le passage d'un courant alternatif, lorsque le secteur fournit cette sorte de courant). Un contact imparfait augmente la résistance le long d'une épaisseur très faible (sans que le courant qui passe soit sensiblement diminué). Or, nous savons qu'un *même* courant, traversant une résistance plus forte qu'une autre, y dégage plus de chaleur (§ 17); l'élévation de température favorise l'oxydation du métal, si bien que le contact devient de plus en plus mauvais. Finalement, le passage de l'électricité s'effectue sous forme d'un petit arc électrique qui dégage beaucoup de chaleur : celle-ci se communique à l'isolant qui, peu à peu, se carbonise et risque de mettre le feu aux matières inflammables, *sans que les plombs sautent* (1).

Il est donc nécessaire que toute installation soit effectuée avec beaucoup de soin et aussi qu'on nettoie les pièces au contact, dès qu'elles s'échauffent : bien entendu, on ne se livrera à cette opération qu'après avoir « coupé le courant » au moyen de l'interrupteur principal (fig. 37). Nous verrons, au cours du chapitre suivant, que les interrupteurs sont spécialement construits pour donner lieu à de très bons contacts et pour éviter la formation d'arcs.

Le cas est certes très rare, mais il peut arriver qu'on perçoive l'odeur du caoutchouc brûlé ou même qu'il commence à se

(1) Puisque le courant total reste à peu près invariable.



dégager de la fumée : c'est qu'il s'est produit un mauvais contact, car, si la ligne avait été surchargée et si les fusibles étaient convenablement choisis, ceux-ci auraient fondu. Dans ce cas, la première chose à faire est de couper l'interrupteur général; il ne faut jamais jeter d'eau sur un appareil ou une canalisation qui prend feu et qui est resté sous tension : nous savons (§ 31) qu'on risque de se faire électrocuter. Une fois la tension supprimée, on cherchera de préférence à étouffer le feu à l'aide de chiffons, de sable..., ou, mieux, au moyen d'un extincteur.

35. Principe des appareils de protection. — Pour se protéger contre les risques d'incendie par court-circuit ou par surcharge (1), on intercale dans le circuit d'utilisation un appareil de sécurité, appelé *coupe-circuit*.

Sa partie essentielle est un bout de fil qui fond facilement (2) et formé d'un alliage à base de plomb (3). C'est ce qui explique pourquoi les coupe-circuit sont aussi désignés sous les noms de *fusibles* et de *plombs*.

On distingue dans toute installation trois sortes de coupe-circuit : les « plombs du secteur » sous scellé (§ 26), le coupe-circuit général placé sur le tableau de commande à côté de l'interrupteur général (§ 26), les coupe-circuit locaux. Nous ne reviendrons pas ici sur le disjoncteur de branchement (p. 53).

Supposons que le courant qui traverse la ligne dépasse sensiblement la valeur prévue : la chaleur dégagée va augmenter, mais cette chaleur sera plus considérable encore dans les bouts de fil du fusible, car l'alliage à base de plomb est beaucoup plus résistant que le cuivre des canalisations; on conçoit donc que le fusible fondera ou, comme on dit, que « le plomb sautera » avant que la chaleur dégagée soit devenue dangereuse.

Le diamètre du fusible doit être exactement proportionné à la puissance qui peut être dépensée dans la dérivation qu'il protège. On admet, en général, qu'un plomb doit sauter lorsque la ligne supporte un courant *double* de celui pour lequel elle a été calculée. Nous avons donné précédemment (§ 26) quelques

(1) Nous venons de voir (§ 35) qu'aucun appareil automatique ne peut défendre l'installation contre des échauffements locaux dus aux mauvais contacts.

(2) Vers 250 degrés.

(3) Généralement un tiers d'étain pour deux tiers de plomb.

nombres relatifs au coupe-circuit général; voici ce qu'il faut prévoir (avec une tension de 115 volts) pour quelques coupe-circuit locaux :

APPAREILS	PUISSANCE CONSOMMÉE	INTENSITÉ CORRESPONDANTE	DIAMÈTRE DU FUSIBLE
Lampe ordinaire	0 hW 4	0 A 35	0 mm 3
Forte lampe.....	1 hW	0 A 9	0 mm 5
Aspirateur	2 hW	1 A 8	0 mm 7
Fer à repasser.....	4 hW	3 A 5	1 mm
Fort radiateur.....	15 hW	13 A	2 mm 2

L'abonné a tout intérêt à choisir scrupuleusement le calibre de ses fusibles, car ce n'est qu'ainsi qu'ils rempliront bien leur office : si le diamètre est trop faible, les plombs sautent constamment; si les fils sont trop gros, les coupe-circuit locaux ne serviront à rien; ce sera soit le coupe-circuit général (fig. 36), soit les plombs du secteur qui fondront les premiers : un désagrément local se trouverait remplacé soit par une panne générale, soit par une suppression relativement longue de la jouissance de l'installation.

Enfin, certaines personnes ont « eu l'idée » de remplacer un plomb sauté par un fil de cuivre, croyant par cela « éviter des ennuis », ou, tout simplement, parce que leur réserve était épuisée. Mettre du cuivre à la place du fusible, c'est exactement comme si on supprimait le coupe-circuit : tout ce que l'abonné peut y gagner, c'est de transformer une panne bénigne et facilement réparable en un accident désagréable et même grave.

36. Description et place des coupe-circuit. — Il existe un grand nombre de modèles : les plus anciens (fig. 45) sont vraiment trop primitifs; les derniers perfectionnements (coupe-circuit à fiche, fig. 46, ou à bouchon) sont maintenant exigés sur les nouvelles installations privées (ils se posent et se retirent comme une prise de courant, p. 79).

Le coupe-circuit à tabatière (fig. 44) se compose d'une boîte de porcelaine (ou socle), fixée au mur, où parviennent les fils de ligne; ce socle possède deux mâchoires métalliques, dans



lesquelles s'engage la barrette portée par le couvercle et laquelle le fil fusible est assujéti (§ 38).

Le seul inconvénient que présente ce modèle, c'est qu'à la longue les pinces élastiques du socle peuvent se relâcher et provoquer un mauvais contact : il faudrait alors les refermer légèrement avec un morceau de bois dur ou, à la rigueur, avec un tournevis (veiller aux courts-circuits et à la décharge par le corps, si l'on ne coupe pas l'interrupteur général).

Ce coupe-circuit est dit unipolaire : il peut servir dans tous les cas ; il suffira d'en disposer soit un, soit deux ou trois côté à côté.

1° Un coupe-circuit suffit quand on branche une lampe (fig. 25) sur la tension étoilée du triphasé ; on dispose le fusible sur le fil F_1 par exemple, et le fil neutre N ne reçoit pas de coupe-circuit. (Cette pratique est avantageuse, car un pôle de l'installation ne cesse jamais d'être à la terre par l'intermédiaire du neutre) ;

2° Dans la majorité des appartements, qui sont branchés sur du monophasé (ou du continu), on emploie deux coupe-circuit (indépendants) l'un à côté de l'autre ;

3° Enfin, quand le triphasé alimente simultanément trois lampes (fig. 23) ou un moteur (fils F_1 , F_2 , F_3 des figures 27 et 28), il faut se servir de trois coupe-circuit.

Comme il est indiqué sur la figure 44, l'entrée du fil venant directement du compteur est placée à la partie supérieure et la sortie du fil rejoignant les appareils à la partie inférieure : il est préférable qu'à la fusion du plomb, celui-ci tombe sur une portion de la ligne qui vient d'être isolée (dans la disposition inverse, le plomb fondu atteindrait des fils restés sous tension).

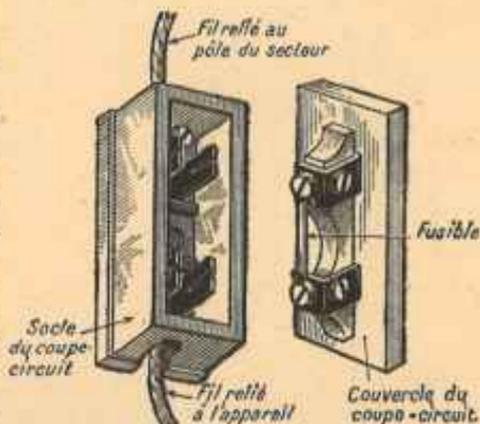


FIG. 44. — Coupe-circuit à tabatière.

Le fusible est fixé sur le couvercle, qui est mis en place par simple pression. Il faut ajuster en haut le fil qui est directement relié au secteur.

La place naturelle des coupe-circuit (à une hauteur *accessible*) est dans l'antichambre ou dans le couloir qui dessert toutes les pièces et où passent les canalisations principales; il est utile d'indiquer par une étiquette (à côté de chaque fusible) quels sont les appareils qu'ils protègent.

Nous signalerons deux modèles, bien moins recommandables, de coupe-circuit. Le premier est le coupe-circuit à tabatière *bipolaire* : outre que les fils sous tension sont assez rapprochés, il est plus difficile de réaliser à la fois quatre bons contacts que deux,

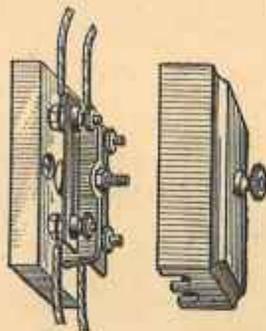


FIG. 45. — Un modèle peu recommandable de coupe-circuit.

Ce dispositif est particulièrement incommode, car le remplacement des fusibles ne peut s'effectuer qu'après avoir « coupé le courant ».

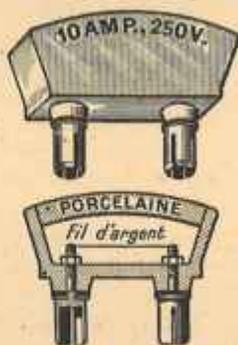


FIG. 46. — Un modèle récent, dit « fusible calibré ».

Le fil d'argent, très fin, est tendu dans une cavité creusée entourée de porcelaine. L'appareil se met en place comme une prise de courant.

avec un seul couvercle. Enfin, l'ancien modèle de coupe-circuit *avec couvercle de porcelaine* (fig. 45) devrait être rejeté, car, les fusibles étant portés par la partie fixe, c'est, juché sur un marchepied et à la lueur d'une bougie qu'il faut remplacer les plombs; enfin, ce qui est plus grave, on risque l'électrocution si l'on oublie de couper l'interrupteur général ou si une autre personne rétablit la tension pendant qu'on se livre au serrage des boutons moletés.

37. Origines multiples des pannes d'électricité. —

Lorsque, dans une installation, la lumière s'éteint, il faut tout d'abord distinguer deux cas :

1° La brillance du filament diminue *progressivement* (en une demi-minute par exemple), pour devenir inappréciable : il



s'agit certainement d'une *panne du secteur* (1). Il n'y a qu'à attendre le rétablissement de la tension, en se servant d'un éclairage de secours : tout appartement doit posséder quelques bougies, qu'on doit avoir à sa disposition ;

2° La lampe s'éteint *brusquement*. Les causes de la panne sont alors multiples et se rattachent à diverses catégories :

a) On recherche si les maisons voisines sont, elles aussi, privées d'électricité. S'il en est ainsi, on a affaire à une panne du secteur, qui rentre dans le premier cas ;

b) On se rend compte si la panne s'étend aux autres appartements de l'immeuble ou à l'escalier. Dans ce cas, il sera bon de prévenir le secteur ;

c) On agira de même si tous les plombs de l'installation sont intacts et si, néanmoins, il y a suppression de la tension (c'est que les « plombs du secteur » ont sauté) ;

d) On essaie d'allumer les autres lampes de l'installation. Lorsque l'obscurité est totale, il convient d'examiner le coupe-circuit général. Si ses fusibles ont fondu, on procédera à leur remplacement (généralement un seul des deux plombs a sauté). Nous donnons ci-dessous des précisions sur la technique à suivre ; mais ce remplacement doit s'effectuer non seulement en coupant l'interrupteur général, mais aussi *tous les interrupteurs particuliers*. Une fois les plombs généraux rétablis, on essaiera tout d'abord les autres lampes (celles qui n'étaient pas allumées au moment où la panne s'est produite). On vérifiera ensuite les coupe-circuit de la dérivation qui est responsable de la panne, puis on allumera la lampe qui fonctionnait quand la panne a eu lieu.

Si l'installation était faite correctement, ce quatrième cas de panne ne devrait pas se produire, car les coupe-circuit locaux, dont les fusibles sont d'un diamètre minime, doivent nécessairement fondre avant ceux du coupe-circuit général ;

e) Quand toutes les précautions ont été prises, la panne est locale (les autres lampes continuent à s'allumer) : ce sont donc les coupe-circuit spéciaux à la dérivation qui sont intéressés. Avant de procéder à leur remplacement, il est bon de rechercher la cause de la fusion (surcharge de la ligne, court-circuit dans

(1) La tension fournie a baissé peu à peu, par suite d'un ralentissement des machines de la « centrale ».

les douilles, dans les prises de courant, dans les câbles souples,...) et de vérifier toute la portion de l'installation qui a donné lieu à l'accident.

L'examen du fusible fournit souvent des indications importantes sur l'origine de la panne :

A) Quand le fusible a disparu sur une grande longueur, c'est que la ligne protégée a subi un court-circuit franc;

B) Si on observe une petite fissure vers la partie médiane, c'est que le calibre du plomb était trop faible ou que la canalisation a été surchargée;

C) Enfin, lorsque le fusible a fondu au voisinage d'une des vis, la raison doit être recherchée dans un mauvais contact

(oxydation du plomb, serrage insuffisant, rupture par serrage excessif), et il s'est produit un dégagement de chaleur local, sans que le restant de la canalisation doive être incriminé.

Si l'on n'arrive pas à trouver pourquoi les plombs ont sauté (1), il est raisonnable de couper le courant (par l'interrupteur général) avant de poser le nouveau fusible, même s'il s'agit

d'un coupe-circuit à tabatière. Sinon, le plomb risquerait de vous fondre entre les mains; au contraire, en admettant que le court-circuit subsiste, le plomb sautera à nouveau, à l'instant où on fermera l'interrupteur général, c'est-à-dire lorsque l'opérateur sera fort loin du plomb qui risque de recommencer à fondre.

Nous indiquerons, à propos des canalisations et des appareils particuliers, quels en sont les dérangements habituels et comment il est possible d'y remédier.

38. Remplacement des plombs. — C'est au moment du remplacement des plombs que s'avère la supériorité du coupe-circuit à tabatière (fig. 44) : il suffit, pour détacher le couvercle, de le saisir entre le pouce et l'index, et on voit immédiatement si le plomb est intact ou s'il a sauté. Dans ce dernier cas, la

(1) Ou, même, si l'on n'est pas absolument sûr d'une réparation parfaite.

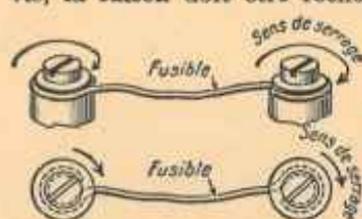


FIG. 47. — Montage correct d'un fusible.

Le fusible doit être enroulé dans le sens de rotation, car le serrage a alors pour effet d'appliquer le fil fusible contre la vis.



réparation s'effectuera à loisir, loin de toute tension dangereuse (ce qui n'est pas le cas, répétons-le, pour le modèle de la figure 45).

On commence alors par desserrer les deux vis du couvercle (fig. 44), pour enlever les extrémités du fusible fondu; on nettoie, s'il y a lieu, les contacts avec un canif ou de la toile d'émeri; on coupe, à la longueur convenable, un fil de diamètre approprié (chaque abonné devra posséder, sur une bobine de bois, une réserve suffisante de fusibles de calibres usuels); on fera attention à ce que le fil ne soit pas trop long (fig. 48), sous peine



FIG. 48 et 49. — Deux mauvais montages de fusibles.

A gauche, le fusible est enroulé dans le bon sens, mais il a été coupé trop long et il risque de se rompre par écrasement. A droite, le fusible est enroulé dans le mauvais sens, et le serrage écartera le fusible de la vis.

d'écrasement et de rupture; on introduira le fil sous la tête de vis, en interposant la rondelle entre le fusible et la tête de vis. Le fil sera enroulé dans le sens convenable, comme il est indiqué sur la figure 47 et non suivant le montage incorrect de la figure 49. Enfin, on serrera la vis suffisamment, mais sans exagération pour éviter d'écraser le fusible ou de le couper par le bord de la rondelle.

Cela fait, on remettra le couvercle en place, en tenant compte des recommandations précédentes (§ 37), et l'installation sera de nouveau prête à fonctionner.

Tous ces inconvénients sont supprimés avec les nouveaux modèles (comme celui de la fig. 46), lesquels trouvent leur meilleure place à côté du groupe de commande (fig. 36, p. 45). Chaque coupe-circuit sera accompagné d'une étiquette explicite. La dépense est un peu plus importante: tout appareil qui a sauté sera remplacé par un neuf, et l'utilisateur doit prévoir, en conséquence, une réserve suffisante, qu'il conservera au voisinage des coupe-circuit en service.



Chapitre VI

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

39. Objet des canalisations. — Toutes les applications de l'électricité reposent sur le passage d'un courant (ou, si l'on veut, sur l'agitation des électrons) dans les parties métalliques des appareils. Il est donc nécessaire d'appliquer aux bornes de chaque appareil une certaine tension, et cette tension est le plus souvent celle du secteur (habituellement 115 volts, continus ou alternatifs); il s'ensuit que tous les appareils d'utilisation seront placés *en dérivation*, c'est-à-dire que chacune de leurs bornes est en communication *directe* (par un fil métallique) avec un des pôles du réseau, c'est-à-dire avec un des fils de départ qui sortent à la partie inférieure du groupe général de commande (*fig. 36*).

On appelle *canalisation* la partie de l'installation qui relie les divers appareils au groupe de commande et qui comprend :

1° Les fils avec leur isolement;

2° Les dispositifs de fixation (moules, isolateurs, etc.).

Il est bien évident que les canalisations doivent être aussi peu apparentes que possible, mais nous ne saurions insister ici sur des travaux qui incombent exclusivement au monteur électricien. Toutefois nous attirerons l'attention sur deux autres conditions fort importantes :

a) Les canalisations ne doivent pas consommer trop d'énergie électrique : elles ne doivent pas trop chauffer. Il est indispensable d'employer des fils de *section suffisante*, de façon à n'être pas limité dans les utilisations nouvelles et à permettre tout développement ultérieur. On compte que le calibre des fils doit être tel qu'*en pleine charge*, leur température ne dépasse jamais 60°, même en été (lorsque la température ambiante atteint 30°);

b) Les canalisations doivent être parfaitement isolées : il



faut que tous les points de la ligne résistent à une tension double de la tension normale. On ne saurait donc recommander avec trop d'insistance d'employer des conducteurs présentant un fort isolement : leur prix n'est pas beaucoup plus élevé que celui des conducteurs d'isolement moyen, et bien des ennuis seront évités dans l'avenir.

40. Divers types de fils. — Les conducteurs employés dans les installations électriques peuvent se ramener à trois types :

1^o Les *fils rigides* (appelés parfois « fils lumière »), qui forment presque tout le réseau intérieur de l'installation. L'âme (c'est-à-dire le conducteur même) est en cuivre rouge recuit et étamé (1); autour de cette âme sont disposées plusieurs couches d'isolants, indiquées nettement sur la figure 50;

2^o Les *câbles souples* (généralement dénommés « fils souples »), qui servent en principe pour alimenter les appareils portatifs. L'âme est formée d'une torsade de multiples fils très fins (2), de cuivre rouge non étamé; leur isolement est indiqué sur la figure 51. Il est prudent de ne jamais se servir de câbles souples

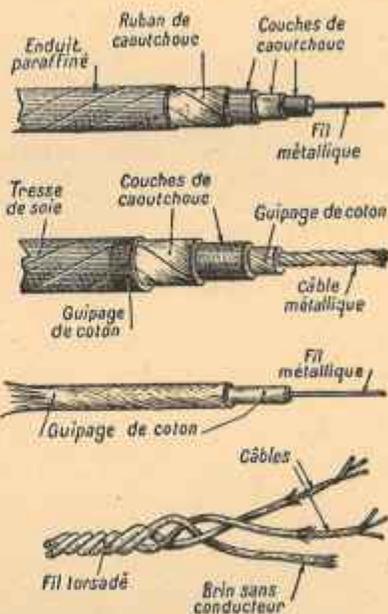


FIG. 50 à 53. — Divers fils conducteurs.

De haut en bas, on voit successivement le fil rigide et le câble souple pour lumière, puis le fil simple pour sonnerie et le câble souple à deux conducteurs pour sonnerie, dans lequel le brin sans conducteur ne sert qu'à épaissir la torsade.

(1) On prescrit les diamètres suivants : 20 dixièmes de millimètre pour le circuit de chauffage, 16 dixièmes pour la ligne principale d'éclairage, 12 dixièmes pour les dérivations dans les pièces et les descentes aux interrupteurs.

(2) Diamètre de chaque fil : 2 dixièmes de millimètre et moins.

usagés : le vieux caoutchouc se fendille, et ce serait là l'origine de mauvais contacts (§ 34, 3°) et de multiples courts-circuits (1);

3° Enfin, les *fils de sonnerie* , qui ne comportent qu'un faible isolement : ils ne peuvent être employés que sous des tensions de quelques volts (piles, secondaires des petits transformateurs); on distingue également des fils simples sous coton (fig. 52) et des câbles souples à deux conducteurs (fig. 53).

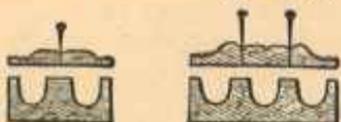


FIG. 54 et 55. — Moulures avec leurs couvercles.

41. Isolement des lignes. — En principe, les fils rigides (pour lumière) sont supportés par des *moulures* (fig. 54 et 55) : ce sont des baguettes en pitchpin, dans lesquelles on a creusé



FIG. 56. — Divers types d'isolateurs.

A gauche, pour câbles souples (cloche en porcelaine, poulie en porcelaine, poulie en os).
A droite, pour fil de sonnerie (crochet, cavalier, taquet porte-fils en bois).

deux rainures (ou trois pour le triphasé; les secteurs interdisent de faire passer plus d'un fil dans chaque rainure). Ces baguettes se clouent sur les murs. Un couvercle cloué recouvre les fils quand ils sont en place. Finalement les moulures sont peintes pour rentrer dans la décoration de la pièce, ce qui les rend peu visibles.

Les câbles souples se fixent à l'aide de petites poulies en porcelaine ou en os, que traverse un clou enfoncé dans le mur (fig. 56, à gauche).

Ajoutons que, pour les sonneries, on emploie toute une série de petits isolateurs (fig. 56, à droite) : crochet, cavalier, taquet porte-fils en bois.

Terminons ce qui concerne l'isolement des canalisations en précisant, sur une figure schématique (fig. 58), quelles peuvent

(1) Pour joindre les câbles souples aux fils rigides, il est prescrit d'employer des *raccords à vis* (fig. 57).

être les conséquences du contact de deux fils voisins. Il faut distinguer trois cas :

1^o Le court-circuit se produit soit sur la ligne principale (en A ou en B), soit sur une des dérivations (en B ou en C) avant les coupe-circuit locaux.

C'est l'alternative la plus grave, car il en résulte nécessairement la fusion des plombs généraux (fig. 36) ou même la fusion des « plombs du secteur », si les plombs généraux sont d'un trop fort calibre ;

2^o Le court-circuit a lieu sur une des dérivations, après les



FIG. 57. — Jonction des câbles souples aux fils rigides par un serre-fil, dit « domino ».

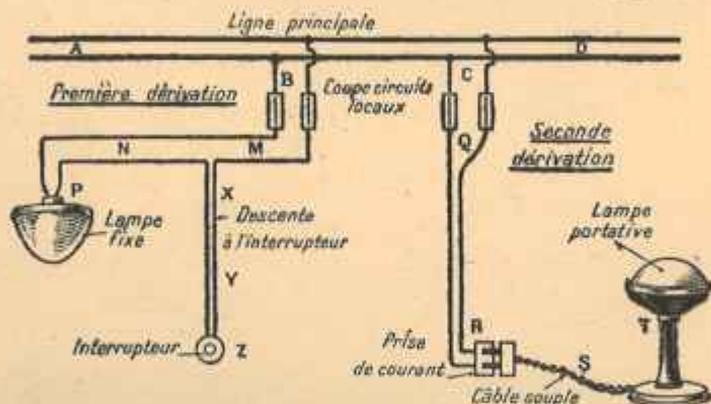


FIG. 58. — Effets différents d'un court-circuit en divers points d'une installation.

Un contact accidentel avant les coupe-circuit locaux (en A, B, C ou D) fait fondre les fusibles généraux (fig. 36). Un contact accidentel (soit en M, N ou P, dans la première dérivation, soit en Q, R, S ou T, dans la seconde dérivation) fait fondre les fusibles locaux. Enfin, un contact accidentel dans la descente à l'interrupteur (en X, Y ou Z) n'a d'autre conséquence que d'allumer la lampe fixe (1).

coupe-circuit locaux, soit en M, N ou P (douille de la lampe), soit en Q, R (prise de courant), S (câble souple) ou T (douille) :

(1) Dans les schémas de montage, quand deux fils sont reliés ensemble, leur contact est indiqué par un gros point. Lorsque, au contraire, ils se croisent sans contact, on fait décrire à l'un d'eux un demi-cercle à l'endroit du dessin où ils s'avaient.

les plombs locaux sautent, si toutefois ils sont convenablement choisis;

3° Si le contact s'effectue entre les deux fils qui constituent « la descente à l'interrupteur » (en X ou Y) ou encore dans l'interrupteur lui-même (en Z), on constatera seulement l'allumage de la lampe fixe, sans qu'aucun des plombs fonde (r).

42. Interrupteurs et boutons de sonnerie. — Le petit appareillage électrique doit être choisi avec soin : de même que pour les canalisations, les dépenses supplémentaires qu'on pourrait engager sont une excellente assurance contre de multiples désagréments. Parmi les appareils qui offrent une garantie suffisante, il convient de signaler ceux qui portent la marque de « l'Union des syndicats de l'électricité » (fig. 59).



FIG. 59.
Marque de
garantie.

Cette marque est apposée sur les appareils de qualité, sous la responsabilité de « l'Union des syndicats de l'électricité ».

Les *interrupteurs* sont des appareils à main, destinés à établir ou à couper le courant dans une portion de circuit. On en exige quatre qualités :

1° Ils ne doivent pas chauffer : les contacts seront très propres et de dimensions suffisantes (au moins 3 millimètres carrés par ampère); ils seront souvent à double contact;

2° Ils doivent couper le courant sans amorcer d'arc : la rupture brusque est assurée par des ressorts convenablement disposés et les pièces mobiles ne doivent pas rester dans une position intermédiaire;

3° Ils doivent comporter un couvercle étanche, soit isolant, soit isolé;

4° Quand la manœuvre s'effectue par une pièce métallique, celle-ci sera isolée de la canalisation électrique (par exemple au moyen d'une barrette en bakélite).

En principe, les interrupteurs sont unipolaires, suivant le montage de la figure 58 (à gauche) :

(1) Pour la localisation des courts-circuits, on opère comme il sera dit plus loin (fig. 148), en remplaçant la sonnerie par une lampe électrique. Vu les dangers que cette recherche présente, il sera bon de faire appel à un électricien, à moins que l'abonné ne soit un amateur très expérimenté. Notamment, les gants seront considérés comme indispensables, si on ne veut pas s'astreindre à couper l'interrupteur principal (fig. 36) chaque fois qu'on déplace un fil.

a) Nous avons eu l'occasion de représenter (*fig. 41*) un modèle déjà ancien, qui est *semi-rotatif* : l'allumage s'obtient en tournant la clé de porcelaine dans le sens des aiguilles d'une montre (d'un quart de tour) ; l'extinction est réalisée en tournant cette clé en sens inverse (d'un quart de tour) ;

b) D'autres interrupteurs, dits *rotatifs*, sont disposés pour tourner toujours dans le même sens (sens des aiguilles d'une montre) : une rotation d'un quart de tour provoque l'allumage,

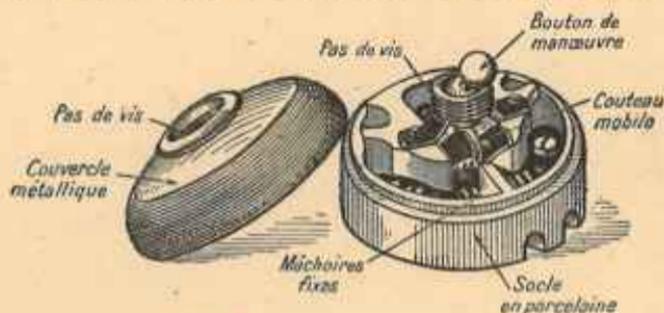


FIG. 60. — Interrupteur à bascule.

Le bouton de manœuvre déplace les deux lames mobiles (par l'intermédiaire d'une barrette isolante qu'on ne distingue pas sur le dessin) ; chacun de ces couteaux s'engage entre deux mâchoires fixes. Un modèle *modifié* est employé pour le va-et-vient (p. 30).

le second quart de tour redonne l'extinction, et ainsi de suite. De tels interrupteurs se placent parfois sur les douilles (§ 48) des lampes à incandescence ; ils doivent être montés avec soin, pour éviter les courts-circuits ;

c) Le modèle actuel, réellement pratique, est l'interrupteur à *bascule* (1) : il est souvent fermé par un couvercle en laiton poli (tapissé intérieurement d'un papier épais, qui sert d'isolant). Le contact est produit par deux lamelles mobiles (*fig. 60*), qui pénètrent entre deux mâchoires ; la manœuvre est assurée par un bouton qui se rabat et se relève. On pousse le bouton avec le bord de l'index ou avec le bord de la main : son fonctionnement est, en tout cas, bien plus simple que ceux des précédents appareils ;

d) On emploie également des plaques métalliques (qui

(1) Appelé encore « tumbler », d'un mot anglais qui veut dire *sauter*.

peuvent être encastrées dans un mur ou posées sur une table) : un système de bascule réalise, soit l'allumage (en appuyant sur un bouton blanc), soit l'extinction (en appuyant sur un bouton noir) ;

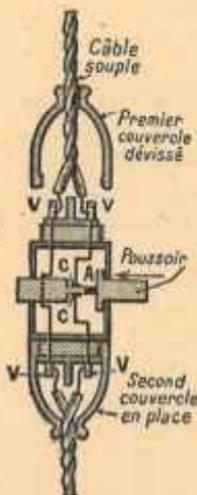


FIG. 61. — Interrupteur à poussoir sur câbles souples.

En appuyant sur le poussoir, l'anneau métallique A établit la communication entre les deux contacts C. Les câbles souples sont fixés par les quatre vis V.

s'appesantir sur leurs descriptions ; un simple coup d'œil suffit à faire comprendre leur fonctionnement, et leur réparation ne présente aucune difficulté.

43. Prises de courant. — Ces appareils sont utilisés chaque fois qu'on veut brancher sur le secteur un appareil qui pourra être déplacé et placé autre part (dans une autre

e) Pour les appareils portatifs, il est commode d'employer l'interrupteur à poussoir, qui se place n'importe où sur la canalisation de câbles souples (fig. 61). La montage, complètement étanche, est en matière plastique colorée (galalithe, bakélite,...) ; le contact s'établit en déplaçant le poussoir de droite à gauche (1) ;

f) On a aussi employé des interrupteurs en forme de poire ; on ne les rencontre plus guère que dans les hôtels, à l'extrémité de câbles souples qui pendent à la tête des lits.

Les boutons de sonnerie (ou boutons d'appel) sont plus simples que les interrupteurs : les contacts n'ont pas besoin d'être aussi bons et les faibles tensions employées permettent de remplacer la porcelaine par du bois. Les figures 62 et 63 représentent le modèle classique. Nous avons déjà rencontré les contacts à barillet (fig. 42). On peut, d'ailleurs, varier les dispositifs extérieurs à l'infini : poires, pédales, coulisseaux, contacts de porte, etc. Il est inutile de

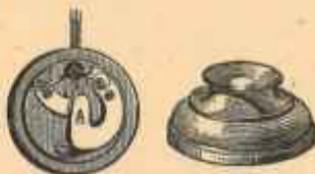


FIG. 62 et 63. — Bouton de sonnerie.

En appuyant sur le bouton presseur en os (à droite), on met en contact les deux paillettes A et B. Dès qu'on lâche, la paillette A, de par son élasticité, reprend sa position primitive.

(1) Il faut noter que ce type, appelé souvent *interrupteur olive*, est bipolaire et peut provoquer des courts-circuits.

pièce, par exemple) : c'est le cas des lampes de piano, des radiateurs, des appareils ménagers,...

En principe, les prises de courant sont des appareils bipolaires : à l'inverse des deux fils X Y Z qui aboutissent à un interrupteur (fig. 58), les fils QR restent *sous tension* quand le courant passe : la prise de courant est donc un appareil *relativement dangereux* : les fils doivent y être fortement fixés, et toute prise en mauvais état (porcelaine cassée, écrous tournant à vide,...) sera réparée dans le plus bref délai.

Commençons par la description de quelques prises *simples* :

1^o Le *bouchon pour douille*.

L'idée la plus facile à réaliser, lorsque aucune dérivation n'a été prévue pour un appareil supplémentaire, consiste à extraire une des lampes de sa douille et brancher sur cette douille, qui est presque toujours à baïonnette (§ 48), l'appareil qu'on veut utiliser. Notre figure 64 représente deux coupes (à angle droit) d'un bouchon en bois : on y remarque les écrous de serrage des fils, les pastilles métalliques qui se trouveront en regard des contacts à ressort de la douille, enfin les ergots métalliques qui s'épauleront sur les parois des fentes de la baïonnette.

Il est bien évident que ce bouchon en bois ne constitue qu'un montage de fortune (x), dont l'emploi n'est admissible que dans la période d'essais ou pour les appareils qui ne servent que très rarement ;

2^o Un modèle quelque peu ancien, mais encore employé, comporte un socle de porcelaine et une fiche (partie mobile) en

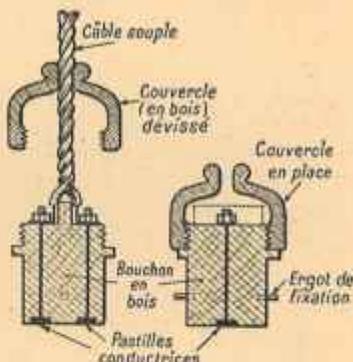


FIG. 64. — Bouchon pour douille.

Le même bouchon est représenté en coupe suivant des vues à angle droit. Les ergots de fixation pénètrent dans la baïonnette de la douille ; les pastilles métalliques s'appliquent sur les contacts à ressort. On voit en haut du bouchon les écrous qui servent à serrer les extrémités du câble souple.

(x) On risque de casser la lampe en l'enlevant pour la remplacer par le bouchon. Si la pièce où l'on se trouve ne possède qu'une lampe, il faut fixer le bouchon dans l'obscurité. Il faut monter sur un marchepied si la lampe est au plafond, etc., etc.

bois. La figure 65 montre les deux lames de contact de la fiche, qui viennent en contact avec les deux lames élastiques du socle. Le socle comporte un couvercle de porcelaine (représenté dévissé); les fils et les câbles ne sont pas indiqués sur le dessin;

3° Le modèle actuel est formé de deux parties — fiche et socle — en porcelaine (fig. 68). Le contact est assuré par la pénétration de deux cylindres fendus dans deux tubes de laiton; lorsque, à la longue, le contact devient mauvais (1), on accroît le pourtour des cylindres de la fiche en introduisant une lame de couteau dans la fiche. Cette fois encore, ni les câbles souples qui pénètrent dans la fiche, ni les fils rigides qui aboutissent au socle ne figurent sur le dessin.

Les prises de courant doivent être manipulées avec précaution. Beaucoup de personnes ne s'astreignent pas à saisir la fiche pour la séparer du socle : elles tirent de loin sur le câble. C'est là une pratique détestable : les écrous de fixation du câble souple (fig. 68) finissent par se desserrer, certains brins du câble s'échappent et peuvent faire court-circuit avec le second câble.

Lorsqu'on sépare la fiche du socle, il se forme nécessairement un petit arc entre le cylindre de la fiche et le tube du socle : une prise de courant ne devrait donc pas servir à couper le courant. Pour remédier à cet inconvénient, on peut :

a) Soit disposer un interrupteur (clé sur douille, interrupteur olive sur câble souple, etc.) sur le circuit portatif;

b) Soit employer une prise dont la partie fixe soit un peu plus compliquée : le socle comprend une broche mobile (fig. 69) qui se manœuvre facilement (par rotation) lorsque la fiche de la figure 68 est en place. C'est, en somme, une combinaison de l'interrupteur semi-rotatif (fig. 40) et de la prise de courant; il faut, toutefois, lui préférer une prise de courant, munie d'un interrupteur latéral (qui présente une rupture suffisamment brusque).

Pour en finir avec les prises de courant, nous dirons quelques mots des *prises multiples*, qui se ramènent à deux types :

1° Les socles à deux ou trois départs, c'est-à-dire présentant quatre ou six tubes; la figure 66 représente une prise à trois

(1) Ce dont on s'aperçoit par des variations du courant (absence de fixité de la lumière, par exemple), ou bien par un échauffement exagéré (§ 34, 3°) de la fiche.

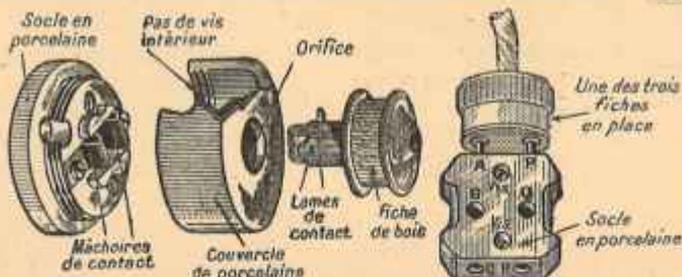


FIG. 65.
Prise de courant (ancien modèle).

Le couvercle se visse sur le socle et les lames de contact de la fiche en bois se placent contre les mâchoires du socle. (Ni les câbles souples qui entrent dans la fiche, ni les fils rigides qui aboutissent au socle ne figurent sur le dessin.)



FIG. 66.
Soche à prises multiples.

On peut placer sur ce socle trois fiches : l'une (celle qui est représentée) entre A et P, une seconde entre B et Q; la troisième entre C et R.

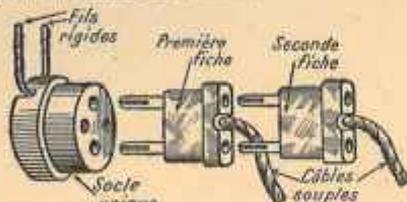


FIG. 67.
Fiches en série.

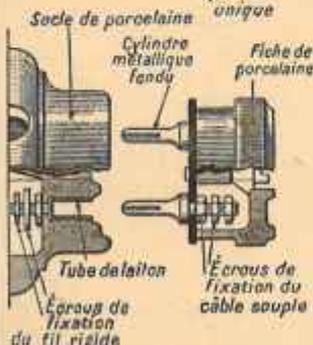


FIG. 68. — Prise de courant en porcelaine.

Le contact est établi en introduisant les cylindres fendus dans les deux tubes à parois métalliques.

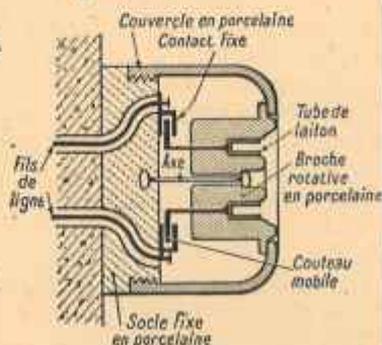


FIG. 69. — Prise de courant munie d'un interrupteur.

On coupe le circuit en faisant tourner la broche dans laquelle est adaptée la fiche.

départs : les trois tubes A B C sont reliés à un des pôles du secteur, les trois tubes P Q R à l'autre pôle;

2° On trouve aussi dans le commerce des fiches mobiles, qui portent d'un côté des cylindres fendus, comme les fiches habituelles (fig. 68, droite), mais qui portent, en outre, de l'autre côté, des tubes de laiton, dans lesquels peuvent s'engager les cylindres d'une seconde fiche, et ainsi de suite (fig. 67). On est limité par la rigidité de cette suite de fiches et surtout par le calibre de la canalisation, qui doit pouvoir laisser passer le courant total.

44. Montages spéciaux. — Le courant électrique s'adapte avec la plus grande facilité à tous les montages qu'on peut désirer. Il nous suffira de citer quelques exemples de ces montages et d'insister un peu sur le plus habituel d'entre eux.

1° Les contacts de porte peuvent être montés en *allumeurs-extincteurs* (par exemple pour W.-C.) : la lampe s'allume quand on ouvre la porte; la lumière subsiste quand on referme la porte, mais la lampe s'éteint lorsqu'on ouvre la porte à nouveau, et elle reste éteinte lorsqu'on la referme;

2° Il est possible, au moyen de deux *commutateurs* (1), d'allumer successivement deux lampes (par exemple une lampe centrale au plafond et une lampe de chevet), de façon qu'une seule lampe puisse être allumée : ce dispositif dit de *chambre d'hôtel* assure le propriétaire contre le gaspillage de l'énergie électrique;

3° Enfin, une même lampe peut être allumée ou éteinte de deux endroits différents (2), au moyen de deux commutateurs : ce montage, appelé *va-et-vient*, est très utilisé :

a) Pour les chambres à coucher (on éteint du lit la lampe qui a été allumée près de la porte d'entrée);

b) Pour les couloirs (on allume à l'entrée et on éteint à la sortie);

c) Pour les escaliers (on allume en bas et on éteint en haut, ou, inversement, on allume en haut et on éteint en bas).

Les meilleurs systèmes de va-et-vient sont ceux qui emploient des *commutateurs à bascule* : ce sont des appareils qui rappellent

(1) On appelle *commutateur* un interrupteur où aboutissent plus de deux fils.

(2) Ou même de plus de deux endroits.

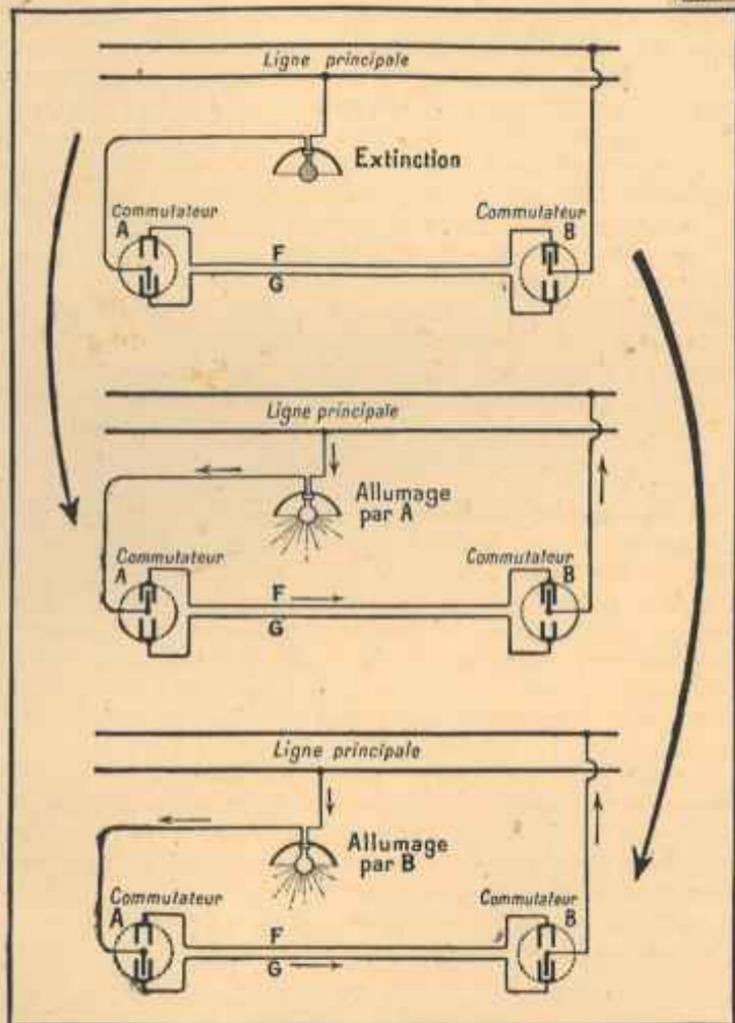


FIG. 70, 71 et 72. — Montage d'un va-et-vient.

La lampe étant à l'extinction comme l'indique la première figure, si on agit sur le commutateur A, comme l'indique la deuxième figure, la lampe s'allume, car le courant peut passer par le fil F et le commutateur B. Si, au lieu de toucher à A, on agit sur le commutateur B, comme le montre la troisième figure, en bas, la lampe s'allume encore, car le courant peut passer par le commutateur A et le fil G.

l'interrupteur déjà représenté (*fig. 60*), où un bouton se rabat (puis se relève), mais dans lesquels la partie mobile porte quatre couteaux (au lieu de deux) et le socle comprend huit mâchoires (au lieu de quatre). Dans le montage le plus pratique (1) [*fig. 70*], les axes des couteaux mobiles sont en connexion avec les pôles du secteur : celui des couteaux A à travers la lampe, celui des couteaux B directement. Quant aux contacts fixes (à mâchoires), ils communiquent deux à deux par deux fils isolés F et G.

Lorsqu'on agit sur le bouton A (*fig. 71*), le courant passe par le fil F et la lampe s'allume. Si, au contraire, on avait agi sur le bouton B (*fig. 72*), le courant aurait passé par le fil G et la lampe se serait pareillement allumée. On arrive donc, comme on le souhaitait, à allumer ou à éteindre la même lampe de deux endroits différents. (On pourrait naturellement employer d'autres commutateurs C, D, ..., à la droite du commutateur B et montés exactement comme ce dernier.)

45. Minuteries d'escalier. — Le montage va-et-vient offre l'inconvénient d'occasionner des dépenses supplémentaires d'énergie électrique, lorsqu'on oublie de couper l'interrupteur : quand un grand nombre de personnes emploient un passage commun (par exemple, un escalier d'immeuble), il est avantageux de monter un appareil automatique, primitivement appelé « allumeur-extincteur temporaire » et universellement désigné sous le nom de *minuterie* (parce qu'il assure l'éclairage pendant plusieurs minutes, fréquemment trois minutes).

Il existe plusieurs types de minuteries. Notre figure 73 fera comprendre le principe de l'une d'entre elles : il s'agit de réaliser un contact temporaire (2) en provoquant le basculement d'une tige métallique (dite « basculateur ») ; un noyau de fer est happé par une bobine d'axe vertical, lorsqu'on y envoie le courant (continu ou alternatif) du secteur (3) ; pour cela, on appuie sur le bouton d'allumage (4). Dès que l'appareil a basculé, le contrepois

(1) Celui qui ne peut provoquer de court-circuit dans les commutateurs.

(2) Le plus souvent, on emploie des contacts à mercure (les figures indiquent un « contact glissant » pour ne pas surcharger le dessin, déjà compliqué).

(3) Nous avons fait comprendre (§ 6) la raison de cette attraction.

(4) La « lampe de réglage » sert de rhéostat (§ 77) ; ce qui est indiqué comme « contact de la minuterie » est destiné à empêcher le fonctionnement de l'appareil tant qu'il n'est pas revenu à sa position de repos.

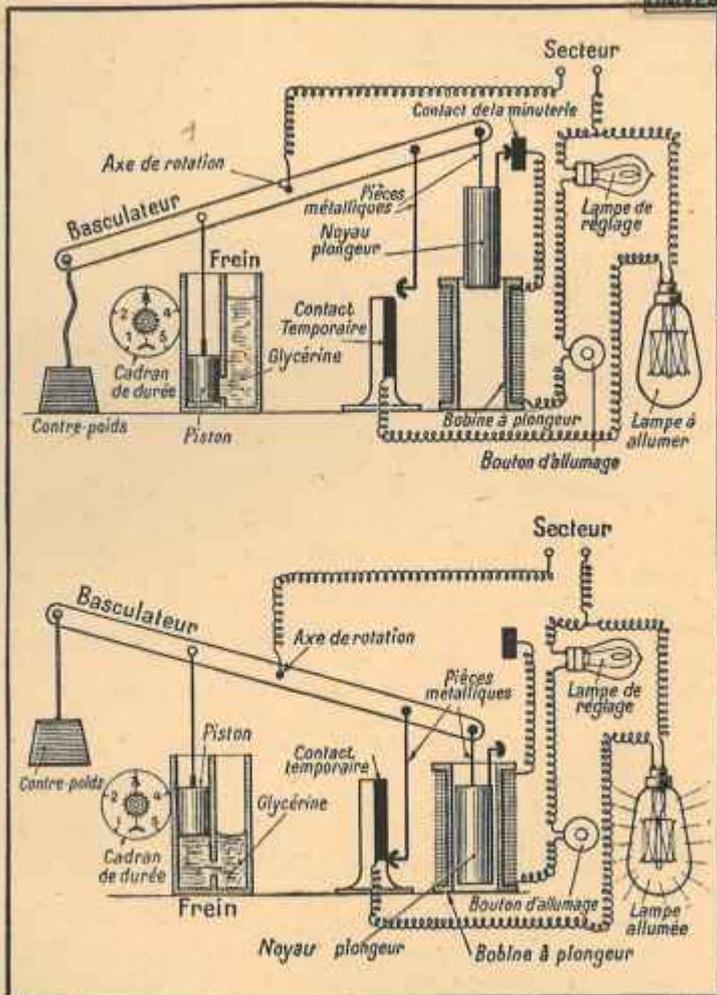


FIG. 73. — Principe de la minuterie d'escalier.

En haut, l'appareil est dans la position de repos. En bas, on vient d'appuyer sur le bouton d'allumage ; le noyau de fer a été attiré par la bobine et le contact temporaire s'est établi ; d'après la position de l'aiguille sur le cadran, le basculateur mettra trois minutes à revenir à sa position de repos ; la lampe reste allumée trois minutes.

tend à le ramener à sa position première; mais il est freiné en obligeant un liquide visqueux (comme la glycérine) à s'écouler lentement entre des parois rapprochées. Il nous est impossible de décrire ici le détail du dispositif; indiquons seulement que c'est en faisant varier la vitesse d'écoulement qu'on modifie la durée de l'éclairage: l'utilisateur n'a qu'à faire tourner une aiguille devant un cadran (gradué en minutes).

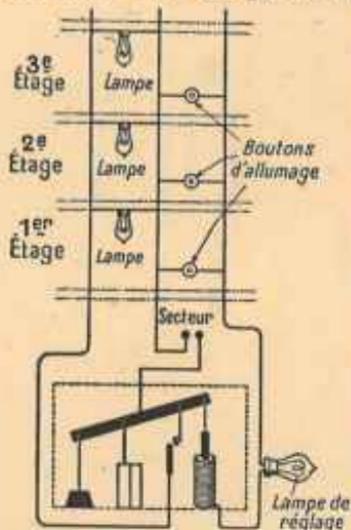


FIG. 74. — Montage d'une minuterie.

Il suffit d'appuyer sur un des boutons d'allumage pour faire basculer la minuterie, et le contact temporaire produit l'incandescence de toutes les lampes.

propres ressources; d'autres ne songent qu'à déranger leur électricien. L'abonné moyen se situe entre ces deux extrêmes: il n'appellera pas le monteur pour remplacer un plomb qui a sauté, mais il ne fera pas non plus tout par lui-même; c'est ainsi qu'il n'y a pas lieu de décrire ici la pose d'une canalisation sous moulures, avec traversée de mur ou passage sous plafond.

Voici le matériel que l'abonné moyen devra se procurer. Sauf le couteau, qui peut être usagé, il y a tout intérêt à choisir un outillage de première qualité, les instruments trop bon marché conduisant à des déboires qu'il est utile d'éviter.

1° Un vieux couteau, fort et de longueur moyenne; c'est l'outil qui servira à dénuder les fils, à gratter les contacts, à couper le chatterton, à tailler les tampons, etc.;

2° Deux tournevis (fig. 75): un petit, pour resserrer les vis des

La figure schématique 73 supposait que la minuterie, le bouton d'appel et la lampe à allumer se trouvaient côte à côte: nous indiquons (fig. 74) comment il faut modifier le montage pour allumer plusieurs lampes en appuyant sur un quelconque des boutons « lumière ».

46. L'outillage de l'abonné.

— Lorsqu'un incident survient dans une installation, certains essaient d'y remédier par leurs

interrupteurs, des prises de courant, des coupe-circuit, douilles, etc.; un autre, plus gros, qui servira, notamment, pour la fixation des appareils aux murs;

3° Deux *maroteaux* (fig. 75) de tailles différentes;

4° Une *pince universelle* (fig. 75), comprenant une partie plate, une partie dentelée et une partie coupante;

5° Un *tamponnoir* (fig. 75), outil d'une seule pièce, en acier

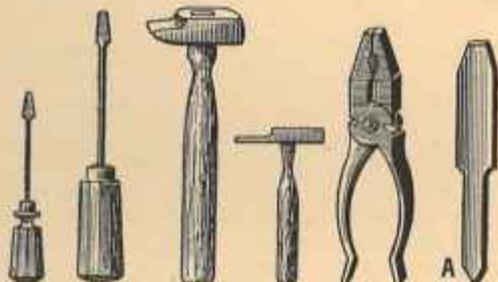


FIG. 75. — L'outillage de l'abonné moyen.

Deux tournevis, deux maroteaux, une pince universelle, un tamponnoir.

trempe, dont une extrémité, A, est affûtée; nous allons (§ 47) en indiquer l'usage;

6° Un rouleau de *chatterton* (ou « toile isolante ») : c'est un ruban de toile recouverte d'un enduit isolant (goudron, résine et gutta-percha); il y a lieu de l'amollir par une douce chaleur au moment de s'en servir;

7° Une réserve de *fils fusibles* (§ 35) ou, éventuellement, de nouveaux modèles de coupe-circuit (fig. 46).

47. Les réparations usuelles. — En décrivant ici quatre types de réparations usuelles, nous avons l'intention d'être suffisamment complet, de l'être même peut-être trop. Si, en effet, l'abonné moyen ne peut guère se dispenser d'effectuer les deux premières, on rencontrera nombre d'usagers qui, pour les deux dernières, préféreront recourir à l'aide d'un électricien spécialisé.

1° *Remplacement des fusibles.* La marche à suivre a été décrite en détail au § 38 : il suffira de s'y reporter;

2° *Serrage des fils.* Ce cas se présente non seulement dans la

réparation des plombs (§ 38), mais toutes les fois qu'il se produit soit un mauvais contact, soit une rupture de contact dans le petit appareillage électrique : interrupteurs, commutateurs, fiches et socles des prises de courant, douilles des lampes (§ 48), etc. Nous avons déjà indiqué (fig. 49, 50 et 51) dans quel



FIG. 76. — Œillet à l'extrémité d'un câble.

sens il faut enrouler un fil autour de l'axe d'une vis. Ajoutons que, pour rendre le contact plus parfait et pour éviter que le fil (ou le câble) se détache, il conviendra souvent de terminer son extrémité par un œillet (fig. 76). Rappelons que, lorsque l'appareil est sous tension, il est prudent de « couper le courant » par l'interrupteur principal (fig. 36), dès qu'on effectue une réparation quelconque ;

3° *Rupture des fils.* C'est un accident assez rare. On rétablit le contact au moyen d'une épissure (après avoir supprimé la tension). C'est aussi par une épissure qu'on ajoute une nouvelle dérivation à une installation déjà existante. On distingue les épissures *en bout* et les épissures *en dérivation* (fig. 77) : les techniques schématisées par ces figures sont valables aussi bien pour les câbles souples que pour les fils (1). Lorsqu'on est conduit à couper des fils qui font partie d'une installation, il ne faut jamais les couper ensemble : si ces fils étaient sous tension (2), les bords de la pince coupante provoqueraient un court-circuit franc ;

4° *Descellement des appareils*

fixés aux murs. Les murs, qu'ils soient tendres (plâtre) ou durs (brique), se prêtent mal à la fixation des interrupteurs, des socles de prise de courant, des appliques d'éclairage, etc. :

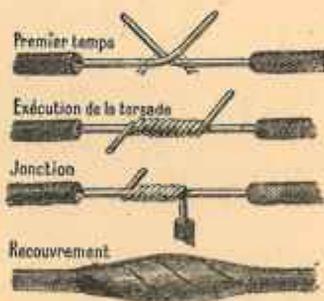


FIG. 77. — Épissures.

Les deux premières figures se rapportent aux jonctions en bout ; la troisième représente une jonction en dérivation ; la quatrième montre le recouvrement en châtignon.

(1) On sait qu'il n'est pas recommandable de réunir directement un câble souple à un fil rigide (fig. 57).

(2) Par exemple si une personne avait rétabli le courant sans prévenir.



on enfonce au préalable des tampons en bois, qui recevront les vis (ou les clous). Lorsqu'un appareil ne tient plus, il faut sans retard procéder à une nouvelle fixation : on le démonte, on arrache les vieux tampons et on agrandit les trous avec le tamponnoir (1) ; on découpe de nouveaux tampons, de dimensions un peu trop fortes, et on les enfonce à coups de marteau.

En règle générale, il est recommandable de remédier le plus rapidement possible aux faibles dérangements, car ils se transforment souvent en défauts plus sérieux, qui vous privent de l'usage de vos appareils et qui entraînent à de grosses dépenses.

(1) On tient le tamponnoir d'une main, la partie affûtée A (fig. 75) contre le mur et on frappe à coups de marteau, en faisant tourner le tamponnoir après chaque coup.



Chapitre VII

LES LAMPES À INCANDESCENCE

48. *L'adaptation des lampes à l'installation.* — De toutes les applications domestiques de l'électricité, l'éclairage est de beaucoup la plus importante : c'est cette application qui s'est popularisée la première. La lumière électrique se remarque par sa sécurité, sa douceur, ses conditions hygiéniques, sa commodité et, en particulier, sa facilité d'allumage et d'extinction. L'éclairage électrique a déjà, pour ainsi dire, supplanté tous les autres.

Nous consacrerons deux chapitres à cette application primordiale. Comme nous partons des pôles du secteur pour aboutir aux divers appareils d'utilisation, nous rencontrons tout d'abord les supports de lampe ou *douilles* (1). Nous nous occuperons ensuite des *lampes électriques*, considérées isolément. Enfin, le chapitre suivant nous fera connaître les directives qui président à un *éclairage rationnel*.

Lorsqu'en un certain endroit d'une installation on veut placer une lampe (ou ampoule), on commence par fixer une *douille*, à laquelle aboutissent deux fils (qui seront ultérieurement sous tension) et qui recevra le *culot* de l'ampoule. En principe, à l'heure actuelle, on n'emploie plus guère que le *système à baïonnette* (2); douilles et culots ont été standardisés et sont interchangeables (diamètre du culot : 22 millimètres; diamètre intérieur de la douille : 23 millimètres; ergots de fixation à 6 millimètres de la base du culot).

Les figures 78 et 79 représentent, la première en perspective, la seconde en coupe, les détails d'une douille à baïonnette : la

(1) C'est par cette question qu'il est naturel de commencer, puisque les douilles font partie de l'installation et qu'elles auraient pu être décrites au précédent chapitre.

(2) Le système à vis se rencontre encore sur certains lustres.

douille proprement dite est un cylindre muni de deux ergots où se logent les ergots du culot de l'ampoule; diverses bagues filetées assurent la fixation d'un porte-abat-jour, d'un raccord terminus et surtout de la pastille de porcelaine : celle-ci reçoit les câbles souples ou les fils rigides, que l'on serre dans deux petites vis; dans ces conditions, la ligne communique à deux pistons à ressort (1), qui réaliseront le contact avec les plots du culot de la lampe à incandescence.

Certaines pastilles sont encore plus compliquées : elles comprennent un interrupteur unipolaire, commandé par une clé. De telles douilles à clé permettent l'économie d'un interrupteur, mais elles sont délicates à monter; elles peuvent être l'origine de courts-circuits et même d'électrocution (dans les locaux humides). Les interrupteurs olives (fig. 61) ne présentent pas ce deuxième risque.

Tout le monde sait mettre une lampe en place : il n'y a qu'à enfoncer le culot dans la douille, en tenant la lampe par l'ampoule (ce qui comprime les ressorts des pistons), et à tourner légèrement (1/10 ou 1/15 de tour) dans le sens des aiguilles d'une montre, pour engager les ergots de la lampe dans les fentes de la douille (n'importe lequel des deux ergots peut s'engager dans n'importe laquelle des deux fentes). Même si les pistons de la douille sont sous tension, cette mise en place ne peut provoquer de court-circuit. Il est toutefois préférable de couper l'interrupteur correspondant, car on pourrait fort bien

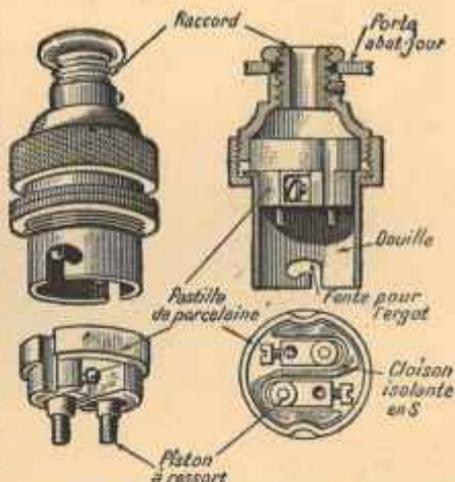


FIG. 78 et 79. — Douille de lampe à baïonnette.
En haut, raccords et douille en perspective; à droite, les mêmes organes en coupe. En bas, la pastille en porcelaine, vue en perspective et de face.

(1) Voir le détail sur la figure 80.

recevoir la décharge (1), si la douille était mal montée (§ 49) ou bien si l'ampoule était sale ou humide.

49. Montage et réparation des douilles. — Pour monter une douille, on passe d'abord les fils dans le raccord et dans les bagues; on sépare les deux fils (2) et on introduit chacun d'eux

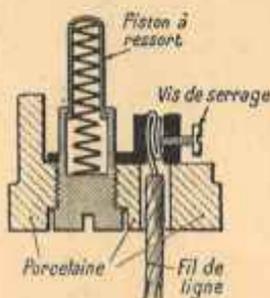


FIG. 80. — Détails de la pastille de porcelaine.

Cette coupe montre comment le piston à ressort est relié au fil de ligne. Il est recommandé de replier deux ou trois fois le fil sous la vis de serrage; le contact est meilleur et le fil risque moins d'être coupé.

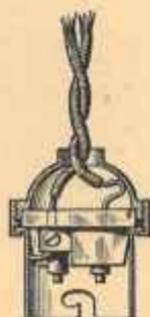


FIG. 81. — Court-circuit dans une douille mal montée.

Le câble de droite est en contact avec la douille, parce qu'il a été dénudé trop loin, et qu'il fait un coude; celui de gauche touche également la douille parce qu'il a été coupé trop long et qu'il dépasse la vis de fixation.

dans un trou de la pastille, en le repliant deux ou trois fois sur lui-même, afin que le contact soit bon et que le fil ne soit pas coupé (fig. 80). Ceci fait, on rentre la pastille dans l'anneau métallique (les bossages de celui-ci s'engageant dans les rainures de la porcelaine). Finalement, en vissant une bague (ou deux), on fixe à la fois la pastille et la douille proprement dite.

Une douille bien montée ne doit que fort peu chauffer pendant l'allumage de la lampe. Si la douille brûlait les doigts, ce serait l'indice d'un mauvais contact, et il conviendrait de la reviser soigneusement. Les défauts d'une douille peuvent être extrêmement nombreux :

(1) Lorsqu'on rencontre une certaine résistance (mauvais calibres), il est nécessaire de saisir la douille avec la main gauche.

(2) Dont les extrémités ont été dénudées sur la longueur strictement nécessaire.



a) Les ergots et les fentes de fixation peuvent être (1) placés ou abîmés accidentellement, ce qui donne à la lampe une mauvaise position ;

b) Les plots de la lampe peuvent être sales ;

c) Les vis peuvent s'être desserrées ;

d) Le piston à ressort peut être trop court ; il peut aussi coincer dans sa gaine ; le ressort peut mal fonctionner.

Rappelons enfin que les douilles donnent facilement lieu à des courts-circuits, car les fils sous tension sont très rapprochés (comme dans les prises de courant) et, de plus, l'extérieur de la douille est métallique. Un des cas les plus fréquents de court-circuit se présentera ainsi : le fil de gauche qui a été dénudé trop loin est en contact avec une bague, tandis que le fil de droite, qui est trop long, touche la douille (fig. 8r). Il est donc nécessaire de monter les supports des lampes avec le plus grand soin, surtout quand il s'agit d'appareils portatifs (1).

50. Montures particulières des lampes. — Avant de passer à la description des lampes à incandescence, nous indique-

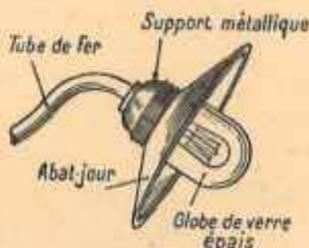
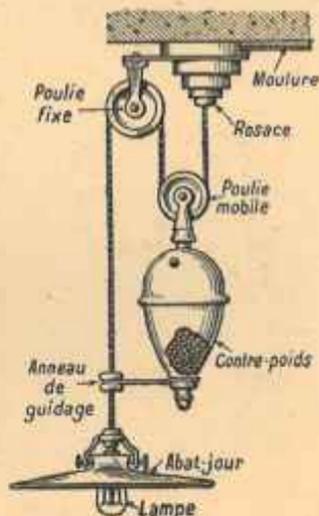


FIG. 82 et 83.
Montures spéciales.

En haut, suspension à contrepoids ;
en bas, lampe d'extérieur.

(1) On voit par ce qui précède que la douille peut être accidentellement reliée à un des pôles du secteur (sans que l'éclairage s'en ressente) : on risque donc de recevoir la décharge si on touche la douille, ou encore si l'ampoule est humide et si on la saisit sans précaution. C'est aussi la raison pour laquelle les abat-jour métalliques sont interdits dans les locaux humides (car l'abat-jour est relié à la douille).

rons ici quelques dispositifs spéciaux, d'usage assez général :

1° *Suspension à contrepoids*. C'est par ce procédé qu'on réalise le plus simplement la mobilité en hauteur : le câble souple est fixé au plafond par une rosace; il s'engage sur la gorge de deux poulies, l'une fixe, l'autre mobile (fig. 82). Il y a intérêt à employer un câble parfaitement isolé, très souple et très solide.

Le contrepoids est en porcelaine : on y introduit (par le bouchon) une quantité de grenaille de plomb, qui équilibre exactement le poids de la lampe et de l'abat-jour;

2° *Les lampes d'extérieur* (fig. 83) doivent être parfaitement étanches, pour que la pluie ne puisse atteindre la douille : on y parvient en général au moyen d'un globe de verre épais, qui se visse dans un support métallique, avec interposition d'une rondelle de caoutchouc;

3° *La lampe baladeuse* (fig. 84) est une lampe portable, particulièrement robuste, qui trouve son emploi dans les garages, caves, hangars, écuries, étables, etc. La lampe est protégée par une armature métallique (1), fixée au manche de bois et sans contact avec la douille. Le câble d'alimentation doit être très solide et très bien isolé. Nous avons signalé (§ 32) que tout défaut dans cette lampe peut causer des accidents graves, surtout dans les locaux humides.



FIG. 84.
Lampe
baladeuse.

Il est recommandé d'allumer la lampe avant de la déplacer; il est dangereux de toucher à l'armature protectrice.

51. Principe des lampes à incandescence.

— L'éclairage domestique, tant à la campagne qu'à la ville, repose exclusivement (2) sur l'emploi de lampes à incandescence. Nous avons suffisamment insisté (§§ 16 et 20) sur le dégagement de chaleur par les courants électriques pour qu'il soit inutile d'y revenir.

(1) Il faut noter que les filaments chauds (allumés) sont moins fragiles que les filaments froids (éteints).

(2) On emploie cependant, depuis quelque temps, des petites lampes au néon, dont la consommation est très faible et qui donnent une lumière rouge orangé (fort en vogue dans les réclames lumineuses). Dans certains modèles, un double allumage permet d'utiliser à volonté la pleine lumière ou une faible lueur (veilleuse).



Toute lampe à incandescence comporte un culot, un filament et une ampoule de verre. C'est pour éviter que le filament soit brûlé (et par suite immédiatement détruit dès le passage du courant) qu'on fait dans l'ampoule un vide aussi parfait que possible (*lampes à vide*, fig. 85), ou qu'on y introduit un gaz inerte, généralement de l'argon, parfois de l'azote ou du krypton (*lampes à atmosphère gazeuse*, fig. 86).

Le filament est, à l'heure actuelle (1), toujours fabriqué avec un certain métal, appelé *tungstène*, capable de supporter sans

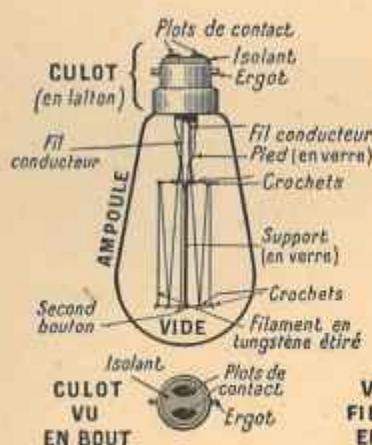


FIG. 85.

Lampe à vide.

Cette lampe se reconnaît à son filament en zigzags; elle est employée pour les faibles puissances (inférieures à 60 watts), pour lesquelles elle est avantageuse.

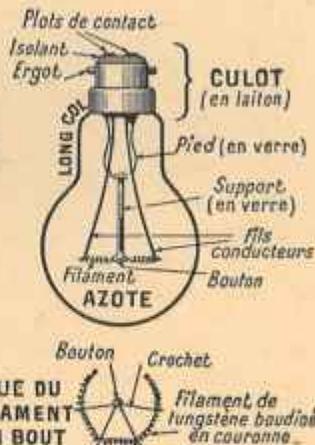


FIG. 86.

Lampe à atmosphère gazeuse.

Le filament est boudiné en couronne; le col de la partie supérieure est destiné à condenser les vapeurs métalliques, et le reste de l'ampoule se trouve ainsi protégé.

fondre des températures très élevées (entre 2 200° et 2 700°). On a montré, en effet, que l'efficacité lumineuse d'une lampe est d'autant plus grande que la température du filament est plus haute. Toutefois, plus on « pousse » une lampe (en y envoyant un courant électrique intense), plus le filament (même en tungstène) se désagrège vite. L'usage des lampes électriques

(1) On n'utilise plus guère de lampes à filament de charbon, comme celles qui sont représentées figures 30-34. Toutes choses égales d'ailleurs, elles consomment quatre fois plus d'énergie électrique que les lampes à filament de tungstène.

exige ainsi un compromis entre deux conditions contradictoires : si la lampe a un bon rendement, elle dure peu de temps (sa *vie utile* est brève); si elle est établie pour durer longtemps, son efficacité lumineuse est médiocre (il faut, à lumière égale, consommer une grande puissance électrique, et les redevances à payer au secteur sont excessives).

On utilise les lampes à vide (filament en zigzags) pour des puissances inférieures à 60 watts et les lampes à atmosphère gazeuse (filament boudiné) à partir de 60 watts. Dans les nouvelles lampes de la série standard, le consommateur n'a plus à



FIG. 87. — Lampe tubulaire à filament rectiligne.

Cette lampe à atmosphère gazeuse consomme 60 watts; le tube a 30 centimètres de long.

s'occuper de cette question : c'est le constructeur qui établit chaque type de telle sorte que l'énergie dépensée soit réduite au minimum. (On peut admettre que, dans l'éclairage électrique, le prix d'achat et de renouvellement des lampes représente environ 7 p. 100 de la dépense totale; le prix de l'énergie électrique employée atteint donc 93 p. 100 de cette dépense.)

Certaines ampoules présentent un dépolissage intérieur (lampes perle); d'autres sont en verre opale (on ne voit plus le filament incandescent à travers l'ampoule translucide). Pour certaines applications, on utilise des lampes, dites « lumière du jour », dont l'ampoule est en verre bleuté (transparent) : ces lampes offrent l'avantage de ne pas dénaturer les couleurs (ce qui est le cas pour les autres lampes) et aussi de supprimer le faux jour, quand on passe de la lumière naturelle à l'éclairage artificiel; par contre, leur efficacité lumineuse est relativement faible et leur vie utile relativement courte.

Enfin, il peut y avoir avantage à donner à la lampe la forme d'un tube rectiligne (fig. 87), les deux contacts ayant lieu aux deux extrémités; ce modèle de *lampe tubulaire* trouve sa place



dans les corniches lumineuses; il convient aussi pour l'éclairage d'un miroir, d'un piano, etc.

52. Fonctionnement rationnel des lampes. — Nous rassemblons ici quelques remarques importantes, encore peu connues.

1° Précédemment, les lampes étaient marquées en bougies (par exemple, une lampe de 32 bougies donne *effectivement* la même lumière que si trente-deux bougies étaient rassemblées à sa place). Cette dénomination a été abandonnée pour deux raisons :

a) La lumière émise dépend de la direction considérée : ainsi la lampe à vide (fig. 85) émet beaucoup plus de lumière suivant l'horizontale que vers le bas (et surtout que vers le haut). On ne savait jamais si « 32 bougies » représentait la lumière moyenne (dans toutes les directions) ou le maximum de lumière fournie (suivant l'horizontale, dans le cas précédent);

b) Le nombre de bougies (lumière émise) n'offre pas grand intérêt; c'est le nombre de lux (lumière reçue) qui importe. Nous verrons ce qu'il faut entendre par là (§ 56).

Dorénavant, les lampes seront marquées en *watts* : cette désignation caractérise la lampe avec précision et elle permet, en outre, de connaître la puissance qu'elle consommera. Bref, les deux chiffres (portés en général sur le culot) indiquent, l'un la tension d'alimentation (par exemple : 115 volts), l'autre la puissance dépensée (par exemple : 40 watts). On ajoute également un nombre de *lumens* (lu) : une lampe de 1 000 lumens a une intensité moyenne de 80 bougies (ou encore : 1 260 lu valent 100 « bougies sphériques »);

2° Autant que cela est possible, on doit placer les lampes verticalement, le culot en haut. Cette recommandation est surtout importante pour les lampes à atmosphère gazeuse (fig. 86) : ce n'est que dans cette position qu'on évite le noircissement de la partie utile (partie sphérique) de l'ampoule;

3° Malgré les perfectionnements qu'elles ont subis, les lampes usuelles ont une faible efficacité lumineuse : entre 1,5 p. 100 pour les petites (20 watts) et 2,5 p. 100 pour les grosses (200 watts). En d'autres termes, on ne recueille sous forme de lumière qu'entre 1,5 p. 100 et 2,5 p. 100 de la puissance électrique dépensée, le reste étant dissipé sous forme de chaleur. Nos lampes sont donc plutôt des appareils de chauffage que des appareils d'éclairage : ce sont d'ailleurs des appareils de chauffage de faible

débit, car la puissance qu'elles absorbent est minime, si on les compare aux appareils de chauffage proprement dits (§ 61);

4° Les lampes sont prévues pour une *vie utile* comprise entre 800 et 1 000 heures. On définit comme *vie utile* le temps de fonctionnement qui s'écoule depuis la mise en service jusqu'au moment où la lumière émise a diminué de 20 p. 100 par rapport à la lumière initiale. Nous savons (§ 51) que le filament se volatilise peu à peu en formant un dépôt noir sur la surface intérieure de l'ampoule. La rupture du filament ne se produit que plus tard.

Les abonnés ont généralement tendance à considérer comme bonne une lampe qui dure très longtemps : c'est là une *grave erreur*. Les vieilles lampes ont une efficacité lumineuse déplorable : elles consomment beaucoup d'énergie électrique pour le peu de lumière qu'elles émettent. Et cette observation est d'autant plus importante que le prix d'achat d'une lampe n'est qu'une faible fraction des sommes que coûte son fonctionnement au cours de sa vie;

5° On s'est posé la question de savoir s'il fallait dévolter ou survolter les lampes. Par exemple, y a-t-il intérêt, sur une distribution à 115 volts, à employer une lampe marquée 120 volts (dévoltage) ou une lampe marquée 110 volts (survoltage)?

Pour le dévoltage, il n'y a pas de doute : cette pratique est désavantageuse. La lampe consomme presque autant, mais elle éclaire beaucoup moins.

Il est possible, d'autre part, qu'un très léger survoltage (1 ou 2 volts sur 115) soit plus favorable à l'émission lumineuse qu'il n'est nuisible à la vie de la lampe. Mais le gain est minime ; la tension du secteur n'est pas rigoureusement constante et il est difficile de se procurer des lampes exactement construites pour 113 ou 114 volts. Le plus simple est donc de s'en tenir à la lampe qui correspond à la tension du réseau;

6° Ainsi que nous l'avons signalé il y a un instant, l'efficacité lumineuse des lampes puissantes est très supérieure à celle des lampes plus faibles. C'est un point que l'abonné fera bien de ne pas perdre de vue : il aura donc intérêt, chaque fois que cela ne nuira pas à l'uniformité de l'éclairage, à remplacer un certain nombre de petites lampes par une grosse.

Précisons par un exemple : une lampe à atmosphère gazeuse de 200 watts émet la même lumière que treize lampes à vide



de 25 watts chacune, soit en tout 325 watts. Si l'hectowatt-heure est tarifé 25 centimes, une heure d'éclairage revient à 50 centimes pour la grosse lampe et à 80 centimes pour les treize petites. En admettant 1 000 heures de vie utile, soit au bout de l'année (1), les dépenses se seront élevées respectivement à 500 francs et à 800 francs, soit une économie de 300 francs en faveur de la lampe unique (2);

7° Quand une lampe électrique cesse de fonctionner, il est possible qu'elle soit grillée. On la remplace alors par une lampe fonctionnant bien :

a) Si la nouvelle lampe ne s'allume pas, il y aura lieu de vérifier la douille, comme nous l'avons expliqué (§ 49);

b) Si la lampe, mise à la place de l'ancienne, éclaire normalement, c'est que la première est *probablement* morte. En l'examinant en pleine lumière, on constatera généralement que son filament est coupé;

8° Dernière remarque qui ne s'applique qu'aux lampes à vide (fig. 85). Lorsqu'il s'est produit une rupture du filament, on laissera la lampe en place sur sa douille et on fermera l'interrupteur, comme pour l'allumer. On la secouera ensuite légèrement, pour amener en contact les deux bords de la cassure. Si ce résultat peut être atteint, il jaillira un petit arc, qui resoudra le filament au point de contact.

Naturellement, cette opération n'est avantageuse que si la lampe n'est pas trop vieille, ce dont on s'assurera en examinant l'ampoule en pleine lumière : celle-ci doit être transparente.

53. Lampes de poche. — Les lampes de poche sont constituées par une petite ampoule ovoïde (2cm x 1cm) à filament métallique (tungstène), très court, puisqu'il doit être porté à l'incandescence par une source d'électricité de quelques volts, 4 volts par exemple.

Le plus souvent (3), ces ampoules sont alimentées par une

(1) Si l'on compte deux heures et demie ou trois heures d'éclairage moyen par jour.

(2) Indépendamment de l'économie réalisée sur le prix d'achat.

(3) Les « lampes perpétuelles » ne comportent pas de pile : la tension est obtenue au moyen d'une minuscule machine génératrice, qu'on fait tourner en serrant et desserrant les doigts.

batterie de trois piles sèches, montées en série (fig. 88). Les piles sèches reposent sur le même principe que les piles de sonnerie, dont nous parlerons plus tard (§ 85). Strictement parlant, ces piles ne sont pas sèches : le liquide est immobilisé par incorporation d'une substance visqueuse, qui varie avec les constructeurs (1).

Ces piles ne nécessitent aucun entretien, mais leur vie est

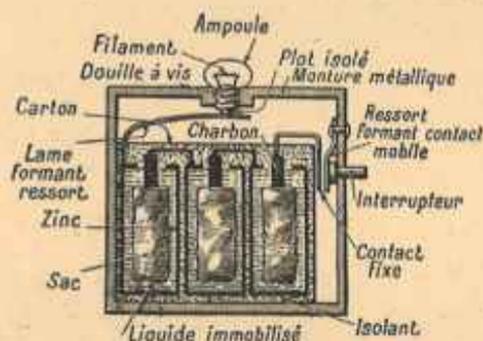


FIG. 88. — Lampe de poche alimentée par une batterie de trois piles sèches.

courte et elles sont assez chères. De plus, elles ne peuvent être régénérées, et il est impossible de vérifier si une pile est neuve ou si elle est déjà partiellement déchargée.

Un coup d'œil sur la figure 88 permet de se rendre compte comment fonctionne la lampe de poche :

en appuyant avec le pouce sur l'interrupteur, on ferme le circuit contenant les piles et le filament. Il convient de veiller :

1° A ce que cet interrupteur donne un bon contact pendant le fonctionnement et un bon isolement pendant les arrêts;

2° A ce que l'autre lame-ressort touche franchement le plot central de la lampe, mais qu'elle n'ait aucun contact avec la vis du culot;

3° A ce que le culot de la lampe soit bien vissé dans sa douille. Si ces précautions ne sont pas prises, les piles se déchargent très rapidement ou bien la lampe refuse de s'allumer.

(1) Certains fabricants inscrivent sur la pile la date de fabrication; il est recommandable de ne pas acheter de pile vieille de plus de trois mois.

Chapitre VIII

L'ÉCLAIRAGE RATIONNEL

54. Préjugés à combattre. — Les progrès de l'éclairage électrique n'ont pas été accompagnés par une éducation parallèle du public. Il ne faut pas perdre de vue qu'une *lampe nue* émet une lumière qui n'est qu'un *produit brut* et qu'il faut modifier suivant les besoins par des aménagements appropriés.

1^o Une idée simpliste conduisit à adapter simplement les ampoules électriques à des lustres anciens ou à des appareils analogues, par exemple en remplaçant les anciennes bougies stéariques par de fausses bougies de porcelaine munies d'une lampe à incandescence : c'était copier servilement un dispositif périmé, nécessaire quand il s'agissait d'une combustion, mais en contradiction avec la forme des ampoules actuelles (§ 52, 2^o). Les premières lampes étaient d'emploi si facile qu'elles favorisaient toutes les paresse. Les appareils modernes utilisent infiniment mieux la lumière, à la condition toutefois de les monter avec des lampes dont la puissance a été prévue par le constructeur (§ 57);

2^o On s'imagine souvent qu'un excès de lumière peut « brûler la vue » : c'est une opinion complètement erronée. On peut affirmer que l'éclairage artificiel est toujours beaucoup moins intense que la lumière du jour; pour s'en rendre compte, il suffit d'allumer l'électricité en plein jour : elle n'apporte qu'un appoint insignifiant. La vision n'est jamais gênée, quand les lumières sont rationnellement établies, judicieusement disposées et convenablement employées. Si tant de personnes sont affligées d'une mauvaise vue, c'est que la plupart d'entre elles usent d'un éclairage défectueux ou insuffisant;

3^o On pourrait penser que l'idéal serait de réaliser, pendant la nuit, un éclairage aussi voisin que possible de celui que donne le Soleil. Sans doute les pièces ont-elles été disposées en prévision de l'éclairage naturel. Mais, dans les deux cas, la lumière utilisée

diffère du tout au tout comme distribution, comme intensité et même comme couleur. Là encore, une imitation servile est sujette à caution : dans bien des cas, la lumière artificielle arrive à s'affranchir des nécessités de construction, qui déterminent l'éclairage de jour, et permet des réalisations fort intéressantes, au point de vue du confort et de l'esthétique;

4° On se figure aussi que l'éclairage rationnel coûte cher d'installation et dépense beaucoup d'énergie. Cette idée est d'autant plus difficile à combattre qu'elle n'est fondée que sur une simple intuition : rien n'est plus simple que les appareils employés, et, s'ils peuvent se prêter à des réalisations de grand luxe, ils sont tout aussi bien utilisables dans les intérieurs plus modestes. On craint l'intrusion du technicien dans ce domaine nouveau et on perd de vue que le technicien, de par sa profession même, est préoccupé du prix de revient et qu'il recherche le maximum de rendement;

5° Enfin, on a prétendu que la lumière émise par les ampoules électriques pourrait être nocive pour les yeux, à cause d'une émission exagérée de rayons ultraviolets. Cette opinion ne supporte pas l'examen : toutes les radiations dangereuses sont arrêtées par le verre de l'ampoule. Même, le rayonnement solaire contient une proportion plus considérable d'ultraviolet (auquel sont attribuables le hâle, le brunissement de l'épiderme et les coups de soleil).

Ce que chacun doit savoir, c'est qu'il est possible de conserver jusqu'au bout l'esprit scientifique dans la résolution de problèmes pratiques, qui paraissent ne devoir relever que de l'intuition (1) : on peut prévoir et doser à l'avance la sensation lumineuse qui sera éprouvée. Certaines installations désuètes et surannées produisent un éclairage insuffisant. D'autres, où l'on s'est borné à remplacer les anciennes lampes de faible puissance par de plus grosses sans modifier les appareils, donnent des résultats déplorables. D'autres, enfin, insuffisamment étudiées ou réalisées de travers, gaspillent de l'énergie électrique ou sont préjudiciables à la vue. Il y a lieu, à ce sujet, de connaître l'existence d'une société *non commerciale*, la « Société pour le perfec-

(1) L'éclairage, a-t-on dit, n'est pas une question « d'ouvrage de dames » ; c'est un problème qui doit être étudié, dans chaque cas spécial, par des moyens techniques.



tionnement de l'éclairage » (1), qui, subventionnée par les syndicats et les compagnies électriques, fournit tous renseignements utiles et édite toute une série d'excellentes brochures, abondamment illustrées, qu'on peut se procurer pour un prix modique (2).

55. *L'éblouissement.* — La condition préalable d'un éclairage rationnel, *c'est de ne pas nuire.*

A l'apparition de la lumière électrique et pendant de longues

Épargnez à vos yeux



*la fatigue inutile et nuisible
produite par la lumière éblouissante*

FIG. 89. — Vignette de la « Société pour le perfectionnement de l'éclairage », faisant ressortir les inconvénients de l'éblouissement.

années, le caractère inhabituel d'un éclairage intense conduisit à le considérer comme cru, peu discret, peu artistique. Tant bien que mal, chacun s'ingéniait à tamiser cette lumière violente par divers subterfuges : ce fut l'âge de la fausse bougie, entortillée par des abat-jour en papier ou en étoffe; on absorbait ainsi sans profit une partie notable de la lumière, en aboutissant à une demi-obscurité d'un goût douteux et en multipliant les « nids à poussière ». Ce n'est que dans ces derniers temps qu'on a appris à s'éclairer sans s'éblouir : on a enfin compris que tel éclairage peut être très intense, et néanmoins doux; que tel autre peut être faible, et néanmoins dur ou éblouissant.

(1) 33, rue de Naples, à Paris, 8^e.

(2) L'abonné moyen consultera avec fruit la brochure n^o 7 : *Eclairage des intérieurs.*

L'éblouissement (fig. 89) est une gêne vraiment pénible, que l'on éprouve lorsque la rétine reçoit *directement* (soit de face, soit latéralement) une lumière trop vive. L'éblouissement est d'autant plus à craindre que la lampe est plus rapprochée et qu'elle est plus « brillante ». La « brillance » du Soleil est considérable; c'est pour cela qu'on n'en supporte pas la vue. Par contre, on supporte sans fatigue notable la vision d'une bougie

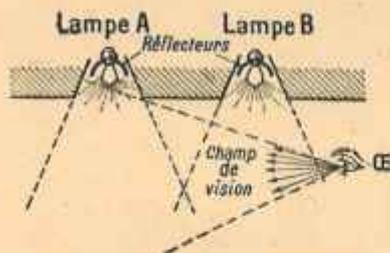


FIG. 90. — Un exemple de dispositif qui évite l'éblouissement direct.

L'œil Œ ne voit pas la lampe B parce qu'elle ne se trouve pas dans le champ de vision; il ne voit pas non plus la lampe A, parce qu'elle est complètement masquée par le plafond.

(stéarique) située à 1 mètre des yeux : ces conditions fixent le maximum à ne pas dépasser. Or, les lampes à incandescence émettent plusieurs dizaines de bougies, et cette émission est ramassée sur une surface (apparente) très faible : il est, par suite, nécessaire que *toute lampe nue soit masquée à la vue* (1). La figure 90 schématise un dispositif étudié dans ce but.

Pour diminuer l'éblouissement, on a construit des ampoules en verre opale (§ 54), mais ce palliatif est tout à fait insuffisant (2) dès que la puissance de la lampe dépasse une quarantaine de watts : c'est dans le but d'accroître encore la surface éclairante qu'on a imaginé les divers modèles de *diffuseurs* (fig. 97).

En plus des facteurs dont nous venons de parler, il nous faut signaler :

a) L'éblouissement *par réflexion* (3), occasionné par les surfaces brillantes (bois verni, glace de bureau, papier glacé,...) : c'est lui qui est responsable des migraines ou des troubles oculaires que l'on ressent à la longue, après avoir travaillé dans ces conditions;

(1) Une lampe nue (à atmosphère gazeuse) devrait être à plus de 10 mètres de l'œil pour ne pas l'éblouir.

(2) Une lampe opale d'une cinquantaine de watts doit être éloignée de 2 mètres au moins.

(3) Qui intervient dans ce qu'on appelle vulgairement la « réverbération » de la neige, de la mer, d'un lac (quand le soleil est relativement bas sur l'horizon); il est bon de se protéger les yeux par des verres fumés.



b) L'éblouissement *par contraste*, qui se produit quand on passe sans transition de l'obscurité à une vive lumière (ou inversement). Il faudra éviter de travailler dans une pièce sombre sur une table éclairée par une lampe portative pourvue d'un réflecteur trop concentrant : les mouvements inconscients de l'œil portent le regard alternativement sur les parties brillantes et l'entourage sombre, en provoquant une gêne insensiblement progressive, dont on ne se rend compte que quand elle est devenue pénible.

56. La valeur d'une installation d'éclairage. — L'éclairage ayant pour but de rendre visibles les objets qui nous entourent, on considère comme lumière *utile* celle qui tombe sur ces objets. La lumière utile n'est pas due seulement aux rayons qui vont directement de la lampe à l'objet, mais aussi à ceux qui sont réfléchis par toutes les surfaces avoisinantes. Cette lumière d'appoint (sources secondaires) sera d'autant plus importante :

1° Que les murs et le plafond de la pièce seront plus clairs;

2° Que les rayons auront subi un plus petit nombre de réflexions avant de frapper les objets utiles. Les formes d'appareils d'éclairage et les dispositions architecturales seront donc, en principe, aussi simples que possible.

Il importe de pouvoir évaluer avec précision la lumière totale qui parvient aux objets éclairés. Avant tout, il a fallu choisir une unité particulière de mesure : c'est le *lux* (1); on dit qu'une surface plane possède un « éclaircissement » d'un lux, quand elle se trouve à 1 mètre d'une bougie stéarique. Il suffit d'essayer de lire un journal dans ces conditions pour se convaincre que c'est là un éclaircissement bien misérable (2)...

Les éclaircissements recommandables atteindront par suite un assez grand nombre de lux; ils devront encore être accrus lorsque les objets sur lesquels on travaille seront de couleur sombre ou de dimensions réduites. Des expériences très précises, portant

(1) D'un mot latin qui, précisément, signifie *lumière*.

(2) Que de personnes prétendent qu'elles se sont abîmés les yeux en travaillant à la lumière électrique et qu'elles ne peuvent plus lire, comme jadis, à la lueur d'une bougie ! Elles ne se rendent pas compte que, bien au contraire, un éclairage suffisant a *sauvé leurs yeux* et qu'elles n'en seraient sûrement pas là, si elles avaient pu profiter d'une lumière abondante pendant leurs jeunes années...

sur de très nombreux sujets, ont montré qu'une augmentation de l'éclairage des plans utiles :

- a) Rendait les travaux plus rapides;
- b) Retardait la fatigue (1).

Voilà qui suffit à réduire à néant les objections « de sentiment », contre lesquelles nous nous sommes élevés plus haut (§ 54). C'est de l'interprétation de ces expériences que sont nées les valeurs des éclairages convenables, que nous allons maintenant rappeler.

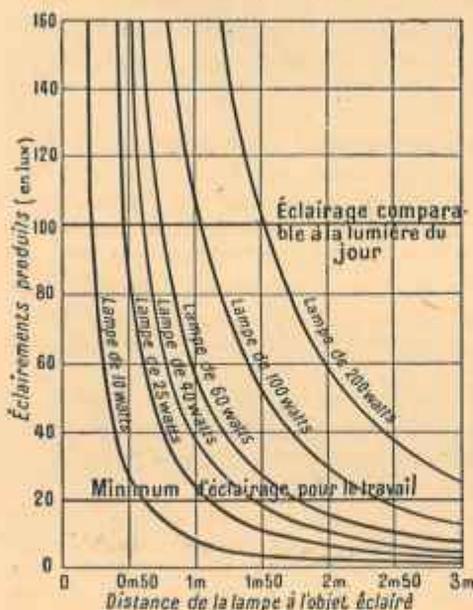


FIG. 91. — Graphique indiquant la puissance de la lampe à employer pour un résultat désiré.

Ce graphique ne peut être qu'approximatif, car il ne tient pas compte de la lumière diffusée (par le plafond ou par les murs), ni de la lumière concentrée par les réflecteurs, ni inversement de l'absorption par les diffuseurs, etc.

2 et 3 mètres; enfin, pour une lampe de 200 watts, ces nombres sont portés à 230 lux, 57 lux et 26 lux (2).

(1) Une lumière insuffisante incite les personnes à rapprocher exagérément leurs yeux de leur travail. On a démontré qu'un éclairage rationnel réduit dans une très forte proportion les cas de myopie chez les enfants.

(2) Ces nombres ne tiennent pas compte de la lumière diffusée par le plafond et les murs; on les obtiendrait en opérant dans une chambre noire.

Une lampe électrique de 60 watts, placée à 1 mètre du plan utile, donne 55 lux; l'éclairage est réduit à 14 lux et à 6 lux respectivement, lorsqu'on porte la distance à 2 et à 3 mètres; une lampe de 100 watts fournit 110 lux, 27 lux et 12 lux à ces mêmes distances de 1,

2 et 3 mètres; enfin, pour une lampe de 200 watts, ces nombres sont portés à 230 lux, 57 lux et 26 lux (2).

MESURE DE L'ÉCLAIREMENT

Ceci posé, nous indiquons quelques points de repère de l'échelle des éclairements :

Éclairage suffisant pour se conduire.....	0 lux 5
Éclairage suffisant pour le travail de bureau.....	20 lux
Éclairage en plein jour dans une salle bien éclairée.....	100 lux
Éclairage pour couture sur étoffe noire.....	300 lux
Éclairage en plein soleil, à midi, en été.....	100 000 lux

Le graphique 91 permet de prévoir approximativement l'éclairage produit par

des lampes de puissances diverses à des distances variables. On y lit, par exemple, qu'une lampe

de 10 watts ne doit pas être éloignée de plus de 60 centimètres pour donner un éclairage juste suffisant pour le travail

(le repos ou la conversation peuvent, bien entendu, se contenter d'une lumière moins intense). On remarque qu'il faut

placer à 1 mètre une lampe de 100 watts pour reproduire un éclairage comparable à la lumière du jour. On voit aussi

que les plafonniers (à 2 mètres des plans utiles) donnent beaucoup moins de lumière que le Soleil, même avec des lampes de forte puissance : une lampe de 200 watts produit un éclairage qui ne dépasse guère la moitié de celui du jour.

Est-il possible à l'abonné d'évaluer exactement les éclairements

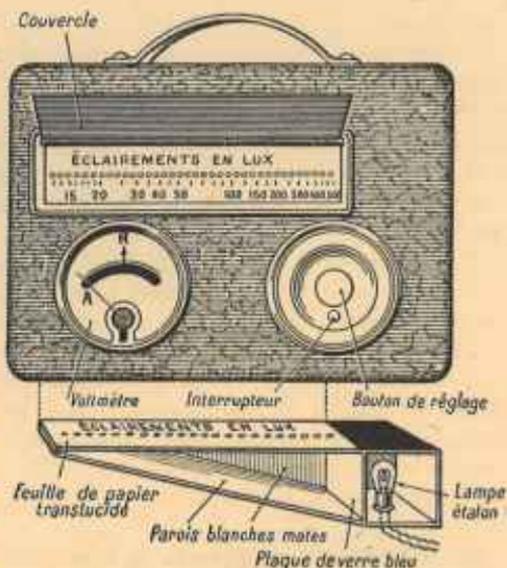


FIG. 92 et 93. — Le luxmètre.

Cet appareil permet de déterminer instantanément la valeur d'une installation d'éclairage. On s'arrange pour que la lampe étalon émette toujours la même lumière. A cet effet, on agit sur le bouton de réglage jusqu'à ce que l'aiguille A coïncide avec le repère R. On observe alors sur l'échelle celui des petits cercles qui disparaît le mieux et on n'a plus qu'à lire, en face de ce cercle, sur l'échelle, l'éclairage en lux.

en divers points de son installation ? Cette mesure s'effectue au *luxmètre*, appareil assez simple, mais qui n'est pas encore très répandu, car il coûte assez cher (1).

Son principe repose sur un fait d'expérience quotidienne : quand on a fait tomber une tache grasse sur une feuille de papier, elle se détache en clair sur fond sombre, si la face arrière est plus éclairée que la face avant (et inversement). Le *luxmètre* (fig. 92 et 93) comporte toute une suite de petites taches et on éclaire la face arrière par une petite lampe étalon, alimentée par une pile (logée dans le corps de l'appareil). On opère alors comme suit :

1° On tourne le bouton de réglage (2) de telle sorte qu'en appuyant sur l'interrupteur, l'aiguille A vienne recouvrir le repère R, afin de reproduire toujours la même émission de la lampe étalon (quelle que soit l'usure de la pile) ;

2° On place le *luxmètre* à plat (les taches en dessus) sur le « plan utile », c'est-à-dire à l'endroit dont on veut connaître l'éclairement ;

3° On lit, sur la division graduée, le nombre qui se trouve en face de la tache qui a le même aspect que l'écran. Ce nombre donne, en lux, l'éclairement cherché.

C'est par l'emploi du *luxmètre* qu'on rationalisera la pratique de l'éclairage : il jouera peut-être, dans quelques années, un rôle analogue à celui du thermomètre dans les questions de chauffage, car il est certainement *bien moins précis* d'évaluer « à l'œil » la lumière émise dans une pièce que de mesurer, en tendant la main, la température qui y règne.

57. Comment améliorer la lumière des lampes. — Les différents appareils que l'on adjoint aux lampes ont pour fonction de diriger, de répartir et de diffuser la lumière. Un rayon lumineux se propage en ligne droite tant qu'il ne rencontre pas

(1) Une mesure des éclairements ne serait pas seulement intéressante pour apprécier la valeur d'une installation; elle servirait aussi à mesurer l'état de vieillissement des lampes, ce qui conduirait à remplacer celles dont l'émission aurait trop baissé. (Il en résulterait une importante économie d'énergie électrique, qui amortirait le prix de l'appareil.)

(2) Ce bouton agit sur une résistance variable (rhéostat), en série avec la pile et avec la lampe. La coïncidence de A et de R indique qu'il y a toujours la même tension aux bornes de la lampe étalon.

d'obstacle; au contraire, lorsque la lumière rencontre la surface d'un objet ou traverse une substance quelconque, il se produit plusieurs effets que nous examinerons brièvement :

1^o Lorsque la surface de l'obstacle est polie, il se produit une

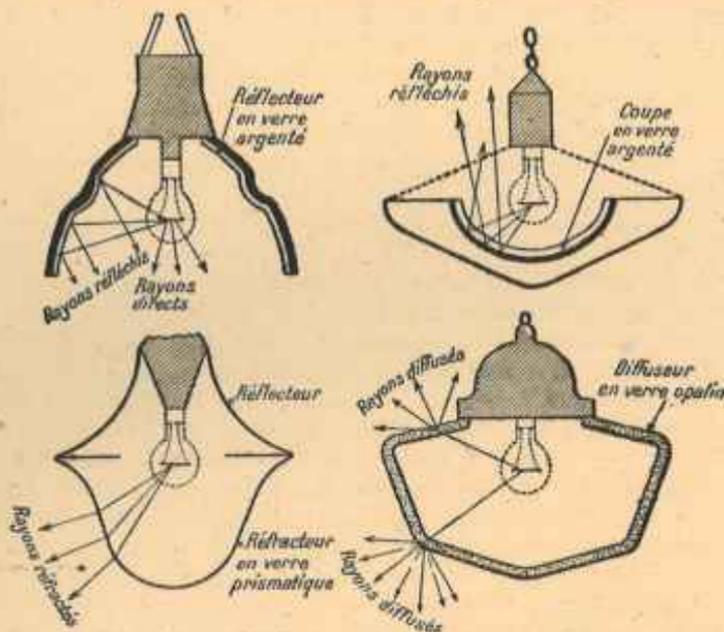


FIG. 94 à 97. — Réflecteur, coupe, réfracteur et diffuseur.

Il est très important que chaque modèle d'appareil soit monté avec une lampe de puissance convenable (généralement indiquée par le constructeur), car la place du filament, qui joue un rôle prépondérant, varie avec la taille de l'ampoule.

réflexion, c'est-à-dire un changement de direction de la lumière sans qu'aucun rayon traverse cette surface. On utilisa d'abord dans ce but la tôle (d'acier) émaillée, mais le verre argenté a un bien meilleur rendement. Les appareils correspondants reçoivent le nom de *réflecteurs* (quand la lumière est dirigée vers le bas) et de *coupes* (quand elle est renvoyée vers le haut) [fig. 94 et 95] ;

2^o Quand on a affaire à une substance transparente, le trajet des rayons est brisé: il y a *réfraction*. On peut s'arranger au mieux des convenances particulières en employant de la verrerie taillée (ou verrerie prismatique) : tel est le cas du *réfracteur* de la figure 96 ;

3° Si l'objet rencontré est opaque en même temps que doué d'une surface rugueuse (bois, étoffes, papier, verre dépoli,...), le rayon primitif est morcelé en un grand nombre de nouveaux rayons qui sont dirigés dans tous les sens : c'est l'effet de *diffusion* par les surfaces mates. Cette diffusion est accompagnée d'absorption; autrement dit, les rayons diffusés ont nécessairement (à eux tous) une intensité plus faible que la lumière incidente (1). Cette perte de lumière, qui n'est guère que de 20 ou 30 p. 100 pour les surfaces blanches, atteint 70 et 80 p. 100 pour les couleurs sombres (gris soutenu, brun foncé, etc.). Comme l'expérience quotidienne le fait pressentir, la teinte du plafond et des murs joue un rôle important dans toutes les questions d'éclairage;

4° Le dernier cas concerne les substances translucides (à surface polie), par exemple la porcelaine et surtout le verre opale, dans la masse duquel se trouvent disséminées une foule de particules solides (par exemple, de cryolithe) ou de bulles d'air, et qui se reconnaît à son aspect laiteux. Il se produit alors une *diffusion* (dans la masse du corps traversé) et, à nouveau, la lumière est finalement éparpillée dans toutes les directions. Sur ce principe repose l'emploi des *diffuseurs*, comme celui de la figure 97, qui connaissent actuellement une grande vogue (2), car ils combattent efficacement l'éblouissement (§ 55). Cette seconde sorte de diffusion (appelée parfois diffusion par transmission) offre malheureusement le désavantage de comporter une absorption assez considérable (par exemple comprise entre 20 et 30 p. 100); toutefois, ce défaut n'est pas aussi important qu'on le croirait à première vue, par suite du phénomène d'adaptation de l'œil : on désigne ainsi le rétrécissement inconscient de la pupille, qui se produit quand la rétine reçoit une lumière vive. Ce rétrécissement est beaucoup plus marqué dans la vue d'une lampe nue qu'avec l'éclairage plus doux d'un diffuseur; et, en fait, on voit *plus clair* dans le second cas que dans le premier, bien que la lumière émise soit un peu moins intense.

(1) L'énergie ainsi absorbée se retrouve sous forme de chaleur (d'ailleurs inappréciable).

(2) Le diffuseur représenté (fig. 97) est complètement clos; d'autres modèles possèdent une ouverture circulaire à la partie inférieure.



En principe, chaque appareil doit fonctionner avec une lampe de puissance déterminée, prévue par le constructeur. D'une part, en effet, le décentrement du filament diminue l'efficacité dans des proportions *considérables* ; d'autre part, l'emploi d'une lampe trop forte occasionne des échauffements exagérés (boursoufflement de l'ampoule, descellement du culot, fusion des soudures intérieures, détérioration de l'isolant des fils d'aménée du courant).

58. Différents types d'éclairage. — Un bon éclairage doit remplir les conditions suivantes :

a) Absence d'éblouissement direct (ou latéral), d'éblouissement par réflexion et d'éblouissement par contraste ;

b) Diffusion suffisante de la lumière (1) ;

c) Éclairage satisfaisant en tous les points des surfaces utiles.

On peut ramener les divers modes d'éclairage à trois catégories principales :

1° *L'éclairage direct*, où la totalité de la lumière est envoyée vers le bas et tombe, sans rencontrer d'obstacles, sur les plans d'utilisation. Ce système est le plus économique : c'est lui qu'on préférera pour les garages, écuries, étables, ... et, aussi, pour les couloirs d'appartement où les raisons d'ordre esthétique sont tout à fait secondaires. L'éclairage direct laisse dans l'ombre le plafond et certaines parties des pièces ;



FIG. 98. Adaptateur en verre opalin pour éclairage mixte.

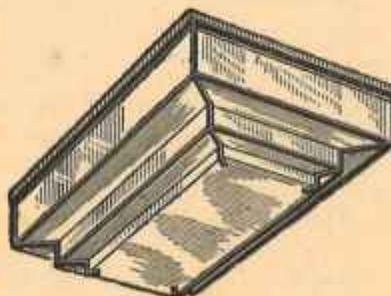


FIG. 99. — Caisson en verre translucide se fixant au plafond et réalisant un éclairage agréable.

(1) Il y a des cas où cette diffusion pourrait être excessive : une lumière complètement diffusée supprime les ombres portées et empêche la perception du relief.

il est de plus un peu éblouissant et donne une lumière dure; en particulier, les sourcils projettent sur les visages des ombres déplaisantes, et les physionomies des personnes sont creuses (1);

2° Dans les *éclairages mixtes*, une certaine portion de la lumière est dirigée vers le bas, tandis que le reste est diffusé par le plafond (obligatoirement de teinte claire). C'est la « solution moyenne », qui rend possibles d'innombrables réalisations : elle fait grand usage de verre dépoli, et surtout de verre opale, sous forme de diffuseurs clos (fig. 97), de réflecto-diffuseurs (fig. 96), de plaques de verre (fig. 99), d'adaptateurs translucides (fig. 98)... En principe, les substances employées doivent être de couleur claire, pour éviter les inutiles pertes de lumière : c'est une

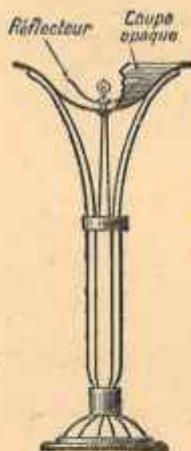


FIG. 100.
Torchère pour
éclairage indirect.

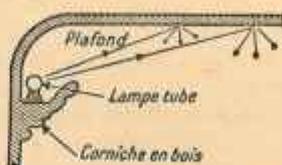


FIG. 101. — Éclairage indi-
rect par corniche lumineuse.

erreur fréquente d'utiliser des matériaux teintés ou veinés, dont la valeur d'art est d'ailleurs contestable;

3° L'*éclairage indirect*, qui est voué à un très grand développement, consiste à diriger toute la lumière vers le plafond, qui devient ainsi une surface éclairante de dimensions considérables et suffit à éclairer tous les plans d'utilisation (on peut, d'ailleurs, aménager un éclairage d'appoint par des appliques ou des lampes portatives). L'éclairage indirect est particulièrement

(1) Au contraire, les lampes placées au niveau du visage donnent de jolis effets : c'est ce qui explique la vogue des appliques et des lampes portatives; on trouve dans le commerce tout un stock de bibelots lumineux qui peuvent apporter une note de galeté et de fantaisie; toutefois, il est en général préférable, aux deux points de vue de l'économie et de l'esthétique, de recourir aux deux autres modes d'éclairage, judicieusement étudiés.



doux et reposant; il est malheureusement un peu cher à cause de la lumière absorbée pendant la diffusion. On le réalise le plus simplement au moyen de torchères mobiles (fig. 100) ou de coupes opaques, fixées au plafond au milieu de la pièce (fig. 95). Dans certains cas — et c'est évidemment l'idéal —, on imagine des dispositifs spéciaux, étudiés en même temps que l'aménagement et la décoration de la pièce qu'on se propose d'éclairer. Ainsi, des coupes, comme celle qui surmonte la torchère, peuvent être disposées dans des cloisons construites aux angles de la salle; on pourra, également, prévoir des corniches (fig. 101) munies de lampes tubulaires (fig. 87) ou des niches pourvues de réflecteurs dyssymétriques en verre argenté (fig. 102).

Le hors-texte qui fait face à la page 112 donne un exemple d'une semblable installation pour l'éclairage d'un cabinet de travail.

59. Cas particuliers d'éclairage. — Il ne nous reste plus qu'à dire quelques mots sur certains cas un peu délicats, en indiquant les meilleures solutions qui ont été proposées :

1° Lampe de bureau. Les lampes portatives à réflecteur trop concentrant sont une source d'éblouissement par contraste. On trouve actuellement, dans le commerce, des lampes bien plus satisfaisantes, comme celle qui est dessinée ci-après (fig. 103) : un globe en verre opale permet un éclairage général assez doux, tandis qu'une coupe inférieure laisse passer une lumière plus intense pour le travail de bureau; cette coupe pourra être en verre bleuté, pour se rapprocher de la lumière du jour (§ 51);

2° Eclairage des pianos. L'éclairage correct d'un piano est toujours fort délicat : c'est là, encore, que le remplacement des bougies stéariques, placées dans des appliques latérales, par de fausses bougies électriques a donné des résultats déplorable : le cahier de musique reste dans l'ombre et les yeux de l'exécutant sont éblouis par la lumière directe. Ce qu'on désire,

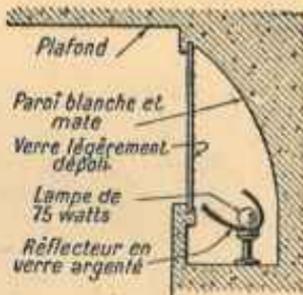


FIG. 102. — Éclairage indirect.

La lampe est placée dans une niche derrière une plaque en verre dépoli et au centre d'un réflecteur. Le hors-texte qui fait face à la page 112 montre une application de ce système à l'éclairage d'un cabinet de travail.

c'est un éclairage intense et uniforme sur le cahier de musique, avec un éclairage restreint sur le clavier.

Pour les pianos *droits*, on obtient des résultats satisfaisants avec une lampe portable réglable (*fig. 104*), qu'on posera sur le couvercle du piano; son réflecteur est prévu pour recevoir soit deux petites lampes à vide, soit (de préférence) une lampe-tube (*fig. 87*) [1].

Le même dispositif est recommandable dans le cas des pianos *à queue*, mais le pied de la lampe précédente (*fig. 104*) est rem-

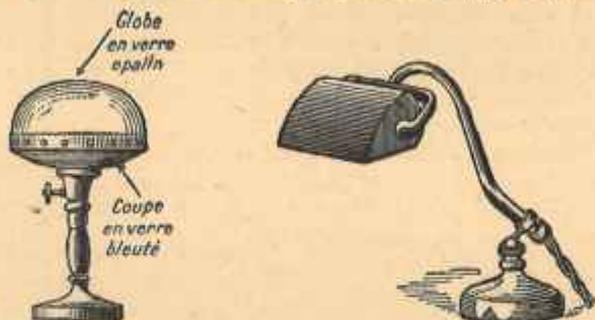


FIG. 103 et 104. — Lampe de bureau, et lampe à support mobile et réflecteur orientable, pour piano et bureau.

Il y a avantage à ce que le réflecteur de la lampe orientable laisse passer un peu de lumière pour éviter l'éblouissement par contraste.

placé par une pince qui se fixe à la partie supérieure du pupitre à musique. A défaut d'un tel système, on peut utiliser des adaptateurs pour éclairage mixte (*fig. 98*):

3^o *Éclairage des miroirs*. Ce cas soulève une difficulté particulière : ce qu'il convient d'éclairer, c'est le visage de la personne qui se regarde, et, en l'éclairant suffisamment, on risque l'éblouissement. La solution traditionnelle (col de cygne avec lampe nue et tulipe, au-dessus de la glace) est franchement mauvaise, car l'éclairage est dur, non uniforme, et aucune précaution n'est prise contre l'éblouissement. Les grands miroirs seront, de préférence, garnis latéralement de bandes ou de tubes en matières diffusantes, telles que le verre opale. Enfin,

(1) On construit aussi des lampes portatives, supportées par un tube flexible et pouvant être placées dans toutes les positions.



ÉCLAIRAGE INDIRECT D'UN CABINET DE TRAVAIL.
Le détail des niches éclairantes est donné par la figure 102, page 111.



on a proposé, avec succès, l'emploi d'un petit appareil qui réalise l'éclairage indirect du visage (*fig. 105*) : une lampe nue se trouve au centre d'une demi-sphère creuse, peinte en blanc mat, qui agit comme diffuseur ; le miroir (légèrement concave pour donner une image agrandie) est de diamètre inférieur à celui de la sphère.

Nous avons insisté suffisamment (§ 32) sur les dangers que présente tout défaut d'installation dans un cabinet de toilette ou dans une salle de bains.

4° *Éclairage des cuisines.* Le danger est analogue pour les cuisines ; nous n'y reviendrons pas. Faisons toutefois remarquer que les préjugés « bourgeois » ont conduit à négliger, le plus souvent, l'éclairage de cette pièce, qui comprend, en tout et pour tout, une lampe avec un réflecteur plat.

On doit faire attention que la cuisine est la pièce où l'on exécute les travaux qui exigent le plus de soin et de propreté ; c'est aussi celle où les lampes sont le plus longtemps allumées. Il est recommandable d'employer un diffuseur clos (*fig. 97*), qu'on garnira de préférence avec une lampe « lumière du jour » (§ 51), qui n'altère pas les couleurs (on ne fait de bonne cuisine qu'en opérant toujours de la même façon, et on évitera les erreurs en obtenant les mêmes teintes pour le repas du soir que pour le repas de midi).

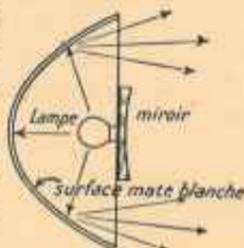


FIG. 105. — Un miroir qui évite l'éblouissement de la personne qui se regarde.

60. Entretien des installations d'éclairage. — Si une installation bien conçue donne à la longue des résultats médiocres, il faut incriminer :

1° Le vieillissement des lampes, qu'il est nécessaire de remplacer suffisamment souvent (§ 52) ;

2° La poussière. Lorsque celle-ci s'accumule, l'éclairage peut tomber à la moitié ou au quart de sa valeur primitive.

Les meilleurs moyens de réduire cette influence déplorable, c'est d'employer des appareils aussi clos que possible (*fig. 97*), de protéger les coupes (*fig. 95*) par une plaque de verre clair,

de s'arranger pour que, dans les objets en verre dépoli, le dépolissage soit tourné vers le bas (1), etc.

Malgré tout, et contrairement à des habitudes fâcheuses, les dispositifs et appareils d'éclairage doivent être nettoyés aussi souvent, et même plus souvent, que les autres objets (2).

Les verres blancs et les glaces doivent être lavés à l'eau; les taches seront grattées au couteau, puis on barbouille avec une pâte de blanc d'Espagne, on essuie au chiffon et à la peau de chamois.

Les ampoules des lampes pourront être nettoyées avec un chiffon imbibé d'alcool à brûler. Mais ce nettoyage conduit parfois à la rupture du filament, qui est plus fragile à froid qu'à chaud. Pour éviter cet accident, on peut allumer la lampe à l'instant même où on va froter son ampoule; l'opération devra être terminée avant que l'ampoule ait atteint une température trop élevée.

Les verres taillés et dépolis seront nettoyés à l'eau savonneuse, puis énergiquement brossés (3); on rince à l'eau claire et on essuie soigneusement.

(1) Donc la face non dépolie vers le haut. La poussière, en effet, adhère bien plus fortement aux aspérités du dépolissage.

(2) Voici un exemple précis: une installation mal entretenue donnait 27 lux; le lavage de l'appareil permit de gagner 10 lux; le remplacement de la lampe, 13 nouveaux lux; enfin la remise en état du plafond et des murs aboutit à un éclairage de 72 lux. La propreté a eu pour effet de tripler la lumière pour une même dépense (ou, ce qui revient au même, de dépenser trois fois moins d'énergie électrique pour un même éclairage).

(3) Les taches peuvent s'enlever à l'eau de Javel.