

BIBLIOTHÈQUE DES ACTUALITÉS INDUSTRIELLES N°51

J. LAFFARGUE & L. JUMAU

Manuel Pratique
du
Monteur Électricien

PARIS
GAUTHIER-VILLARS et C^{ie}
ÉDITEURS



ULTIMHEAT[®]
UNIVERSITY MUSEUM

de démarrage sont successivement éliminées. La position 6 est celle de marche normale.

Dans le cas d'un tramway actionné par deux moteurs à excitation série, il y aura un premier plot nul correspondant au repos. La manœuvre du plot suivant enverra le courant de la ligne dans les deux moteurs placés en série avec interposition d'un rhéostat de démarrage. Les 2 ou 3 plots suivants supprimeront progressivement les résistances de démarrage. En continuant la manœuvre, on augmentera encore la vitesse en branchant les deux moteurs non plus en série mais en dérivation sur la ligne. Enfin la vitesse sera encore accrue en shuntant l'excitation série des deux moteurs branchés en dérivation sur la ligne.

A côté du régulateur de vitesse on trouve souvent un appareil de freinage. C'est un deuxième tambour commandé par une manette spéciale et dont les différents plots correspondent à repos, marche avant, freinage électrique automatiquement, la position de freinage électrique ne peut être prise que lorsque la manette du régulateur est revenue au plot de repos. Le freinage électrique est obtenu en fermant le circuit des moteurs sur des résistances que l'on enlève progressivement jusqu'au court-circuit. Les moteurs agissant alors en générateurs, l'énergie provenant de la vitesse acquise de la voiture, se dépense dans le circuit de court-circuit des moteurs et on obtient ainsi un freinage très énergique.

6. APPLICATIONS CALORIFIQUES DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Les applications calorifiques reposent sur ce principe connu qu'une résistance traversée par un courant électrique s'échauffe. Jusqu'à ce jour, l'énergie électrique a été encore d'un prix trop élevé pour se prêter couramment à la production de la chaleur, surtout sur les réseaux de distribution.

Mais étant donné la grande quantité de chaleur que l'on peut développer dans un très petit volume, et la température



très élevée (et impossible à obtenir autrement) à laquelle on peut arriver, certaines applications calorifiques ont pris un assez grand développement. Nous dirons quelques mots des principales applications.

Rappelons ici qu'un joule ou watt-seconde est égal à $\frac{1}{9,81} = 0,102$ kilogrammètre. Comme d'autre part une calorie (kg-degré) correspond à 425 kilogrammètres, il en résulte qu'un watt-heure correspond à $\frac{0,102 \cdot 3600}{425} = 0,864$ calories (kilogramme-degré).

Soudure électrique et recuits. — Nous citerons tout d'abord la *soudure électrique*, qui est très employée en Amérique, notamment pour le soudage des rails, et le *recuit électrique* des plaques de blindage. Les métaux les plus difficiles à fondre peuvent être soudés à eux-mêmes (soudure auto-gène) avec la plus grande facilité. On envoie dans les deux parties à souder que l'on a rapprochées un courant très intense sous une faible tension (procédé Thomson). On peut aussi, à l'aide d'un crayon de charbon, faire jaillir un arc sur les parties à souder (procédé Bénardos).

Chauffage électrique. — On a essayé également, à l'aide de radiateurs convenablement disposés de chauffer des théâtres, des appartements, etc. Le coût en a été bien souvent prohibitif; mais le prix de revient n'est pas le seul facteur dont il faille tenir compte. Il est certain qu'avec un système électrique bien installé on obtient le chauffage le plus commode et le plus rationnel d'un local; on peut en effet installer aux points où ils sont utiles un ou plusieurs foyers, donner à chacun la forme nécessaire, les faire travailler chacun séparément à volonté, etc. Cette application n'est pas encore très développée.

Fours électriques. — La chaleur dégagée par le courant électrique a été utilisée dans des fours qui ont permis de fabriquer de nouveaux produits chimiques.

Dans le four Moissan on fait jaillir l'arc entre deux charbons horizontaux pénétrant par un canal creusé dans un bloc de chaux vive. Un dôme également en chaux vive, de 30 centimètres d'épaisseur, ferme le four : il reçoit la chaleur émise par le foyer électrique et la réfléchit sur la matière à traiter, qui est placée au-dessous de l'arc électrique. Ce four a permis de réaliser des températures de plus de 3000° alors que les températures les plus élevées atteintes avant son invention étaient limitées à 1800° environ.

Les premiers fours industriels furent ceux des frères *Cowles* parus en 1885 et destinés à la réduction des oxydes, et le four *Héroult*, appliqué d'abord à la réduction de l'alumine par le cuivre, puis à la fabrication de l'aluminium. Le four *Cowles*, perfectionné en 1887, est composé de deux électrodes verticales creuses en charbon; l'électrode supérieure seule est mobile : le tout est compris dans une chambre en briques réfractaires, hermétiquement fermée autour des électrodes. La matière à traiter descend par l'électrode supérieure, traverse le four électrique et est évacuée par l'orifice de l'électrode inférieure.

Le four *Héroult* est basé sur un principe analogue : le cuivre est introduit en granules dans le four; le courant électrique fond le métal interposé entre les deux électrodes; on verse ensuite de l'alumine et on obtient un alliage d'aluminium et de cuivre. Ce four a été appliqué à Froges pour la fabrication du carbure de calcium. Celui-ci est obtenu en traitant au four électrique un mélange de chaux et de charbon. Le *four de Froges* est composé d'une électrode verticale pouvant recevoir un mouvement d'ascension ou de descente au-dessus d'une chambre dont le fond est en charbon et qui est monté sur roues. Cette chambre constitue ainsi un four mobile et sert de deuxième électrode; les parois sont doublées de matière isolante. Le carbure est évacué, par voie de coulée, par un orifice ménagé à cet effet à la partie inférieure de la chambre de fusion.

Lorsqu'une opération est terminée, le four mobile est enlevé et remplacé par un autre.

Les fours électriques servent à la fabrication du carbure de calcium, très employé aujourd'hui (éclairage à acétylène). Le carborundum (carbure de silicium) corps très dur utilisé pour le meulage, est obtenu en traitant un mélange de sable et de charbon.

Une application très importante des fours électriques est celle de la fabrication du fer et de ses dérivés. On a commencé par fabriquer les alliages spéciaux dénommés ferro-alliages (ferrochromes, ferrosiliciums, ferrotungstènes, etc.), que l'on obtient économiquement au four électrique et dans un état de plus grande pureté et de plus grande richesse en métal allié au fer.

On fabrique couramment à l'heure actuelle l'acier au four électrique. Pour réaliser les conditions les plus économiques on s'adresse évidemment à l'énergie des chutes d'eau mais les avantages que l'on retire de la fabrication au four électrique sont tels que dans certains cas, on a eu encore intérêt à se servir de fours électriques alimentés par l'énergie de machines à vapeur.

Ce qui rend le four électrique bien plus avantageux que les fours ordinaires (Bessemer, Martin, etc.), c'est la haute température qu'il développe et qui rend beaucoup plus complète l'élimination des impuretés telles que soufre et phosphore. Il en résulte qu'on peut préparer au four électrique des aciers fins de grande valeur en partant de fontes impures qui dans les fours ordinaires ne produiraient qu'un acier commun.

D'une manière générale, les fours électriques peuvent se diviser en :

1° Fours à arc dans lesquels le chauffage est produit uniquement par la chaleur rayonnée par des arcs électriques éclatant au-dessus de la masse à fondre (four Stassano, par exemple) ;

2° Fours à résistance dans lesquels la chaleur est produite par effet Joule, le courant électrique circulant soit dans des résistances convenables entourant les creusets de matière,



soit dans la matière elle-même formant résistance suffisante (fours Gin, par exemple).

3° Fours à arc et résistance dont la matière est chauffée à la fois par la chaleur de l'arc et à la fois par effet Joule, le courant passant en outre dans la matière. Il peut y avoir un seul arc ou une seule série d'arcs comme dans le four Girod ou bien encore deux arcs en tension, comme dans le four Hérault.

4° Fours à induction qui sont de véritables transformateurs à courant alternatif recevant dans un circuit primaire du courant à faible intensité et produisant un courant de haute intensité dans le circuit secondaire en court-circuit constitué simplement par un canal circulaire de la matière à traiter qui s'échauffe ainsi par effet Joule (fours Kjellin, Röchling et Rodenhauser, Schneider, par exemple).

Tous ces types divers ont leurs avantages et leurs inconvénients. Les fours à résistance nécessitent des courants très intenses et des tensions peu élevées. Ces courants très intenses ont l'inconvénient de donner lieu à des effets d'induction qui liment la puissance des fours. Les fours à arc fonctionnent à des tensions plus élevées, notamment les fours à deux arcs en tension comme les fours Hérault.

Les fours à induction présentent le grand avantage d'éviter l'emploi de gros câbles puisque l'enroulement secondaire à haute intensité est formé directement par le métal en circuit fermé. Le courant arrive donc au four simplement sous la forme de courant à haute tension et à faible intensité qui traverse le circuit primaire.

Au point de vue du rendement, au contraire, les fours à induction se placent en position plus défavorable que les autres.

Si l'on envisage la question des dépenses d'électrodes, on trouve que les fours les plus avantageux sont ceux à induction, ou les fours à résistance dans lesquels le courant est amené par des pièces polaires métalliques. Dans ces différents cas, en effet, il n'y a pas, comme dans les fours à arc,



ULTIMHEAT®

UNIVERSITY MUSEUM

d'électrode en charbon dont la consommation est coûteuse.

Un autre point important est celui de la rapidité des réactions. Celles-ci se produisant principalement à la surface de séparation du métal et de la scorie, les fours dans lesquels se produit une agitation de la masse seront les meilleurs à ce point de vue. Dans les fours à arc, cette condition est mieux réalisée que dans les autres puisqu'il se produit des zones plus fortement chauffées, ce qui facilite le brassage de la masse. Il est vrai que le brassage peut être

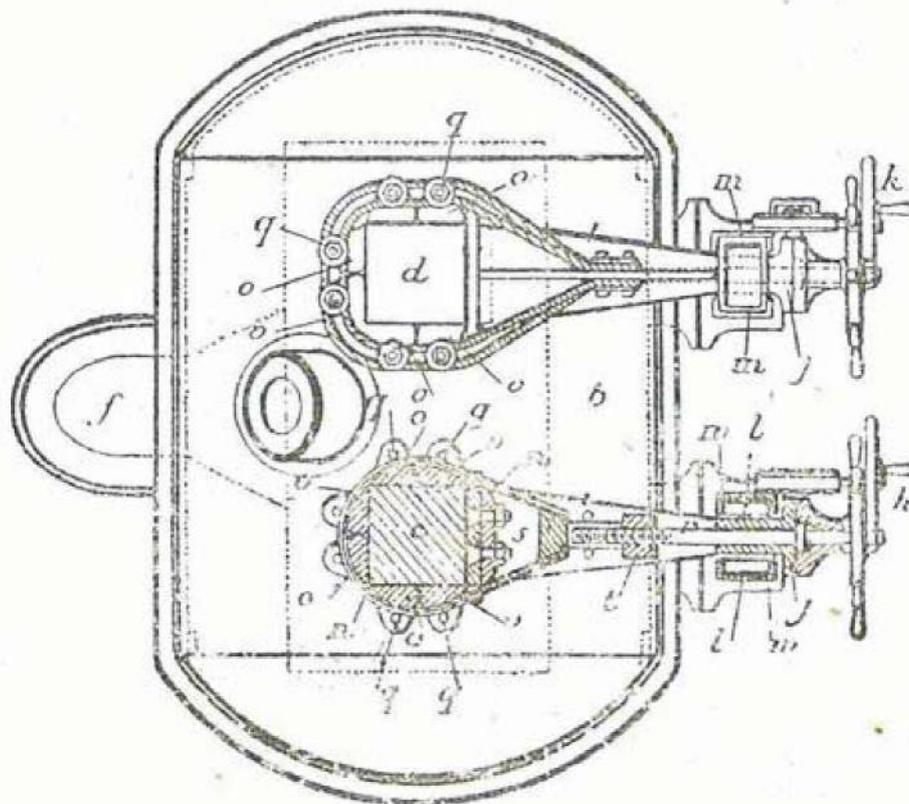


Fig. 812. — Four Héroult, coupe horizontale.

obtenu avec les autres fours à l'aide de certains dispositifs que nous examinerons dans la descriptions des fours.

Quoi qu'il en soit des avantages et des inconvénients de chacun des types de fours électriques, tous donnent lieu à l'heure actuelle à des applications importantes et une longue expérience seule pourra indiquer dans l'avenir le four le plus pratique et le plus économique dans chaque cas particulier.

Quel que soit le type de four, le mode opératoire de fabri-

cation de l'acier reste le même. C'est celui employé au four Martin, la seule différence est l'allure plus chaude à laquelle on peut marcher. A vrai dire, le convertissage par l'air soufflé comme dans le Bessemer, pourrait être employé avec certains fours tels que ceux à induction avec cet avantage que la température élevée nécessaire peut être maintenue aussi longtemps qu'on le désire; mais il ne paraît pas y avoir d'applications de ce mode opératoire..

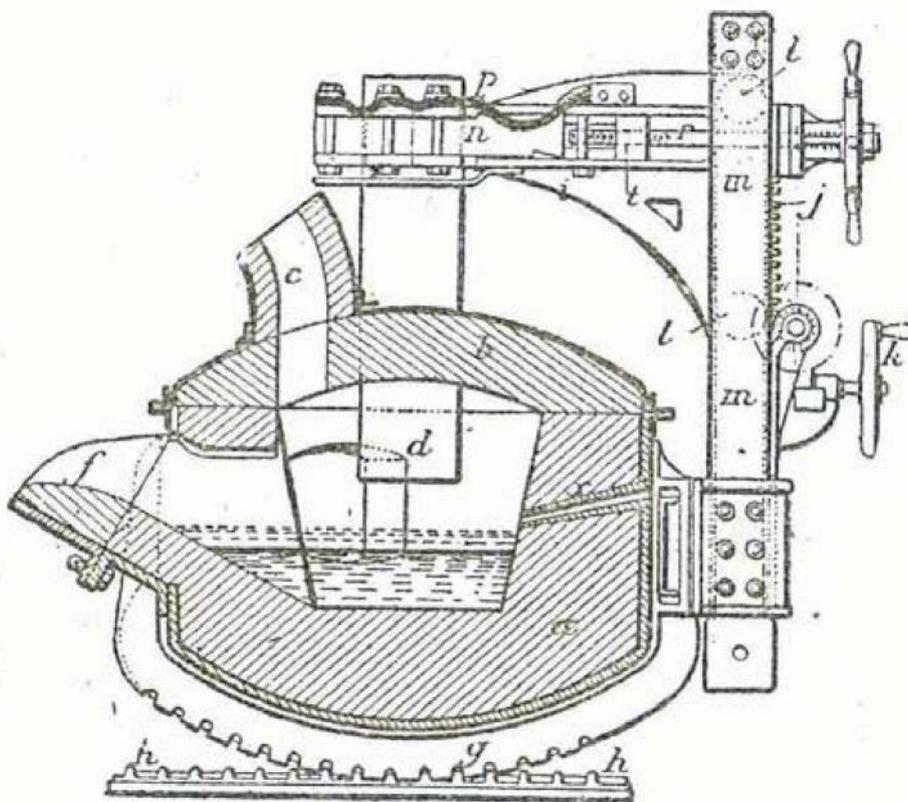


Fig. 813. — Four Héroult, coupe verticale.

Pour procéder comme au four Martin, on réalise 4 opérations successives : fusion et décarburation, déphosphoration, désoxydation et mise au point.

La décarburation s'obtient en fondant la fonte avec des déchets de fer ou du minerai de fer. La déphosphoration, en ajoutant une scorie très basique. Pour la désoxydation, on ajoute du ferrosilicium ou du ferromanganèse. Enfin, la mise au point est obtenue par l'addition de ferroalliages en pro-



portion déterminée suivant les qualités que l'on doit exiger de l'acier.

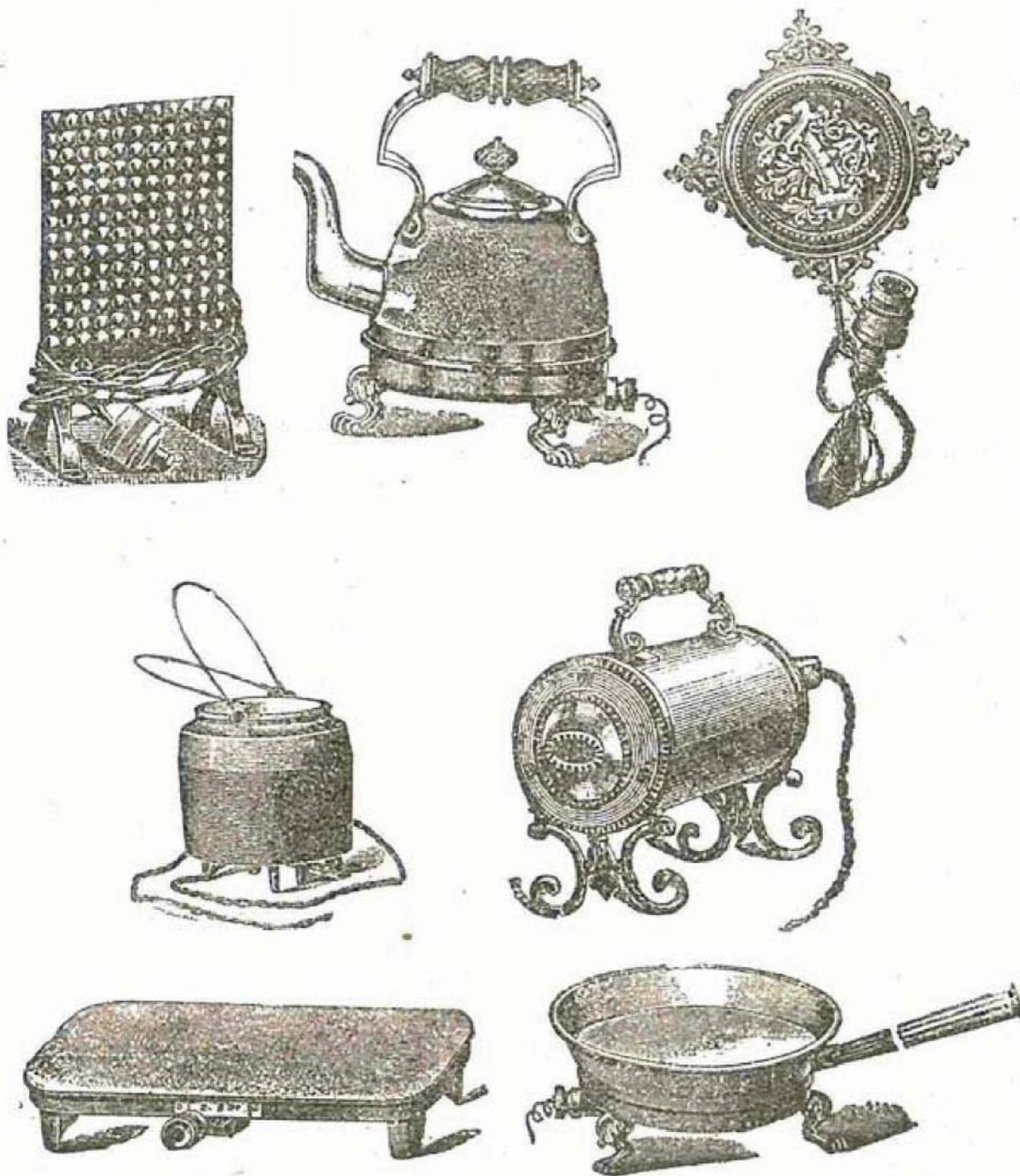


Fig. 814 à 820.
Appareils divers à chauffage électrique.

Les figures 812 et 813 représentent en coupes horizontale et verticale un four Héroult couramment employé et qui

fonctionne à la fois comme four à arc et comme four à résistance.

Le creuset et son couvercle sont métalliques et garnis de briques réfractaires. Le creuset peut basculer autour d'un axe horizontal de façon à permettre l'évacuation du laitier et de l'acier. Le chargement et le décrassage du four se font par deux portes latérales.

Le couvercle est traversé par deux électrodes verticales en charbon. Le courant arrivant par une électrode forme un premier arc, traverse le bain métallique et ressort par l'autre électrode en formant un deuxième arc.

Appareils divers de chauffage. — Il existe aujourd'hui un très grand nombre d'appareils pour applications calorifiques. On a construit (fig. 814 à 820) des radiateurs A transportables pour chauffer l'air dans les différentes pièces d'un appartement, des bouilloires B, des allume-cigares C, des pots à colle électriques D, des chauffe-fers E, des chauffe-plats F, des poêles à frire G, etc.

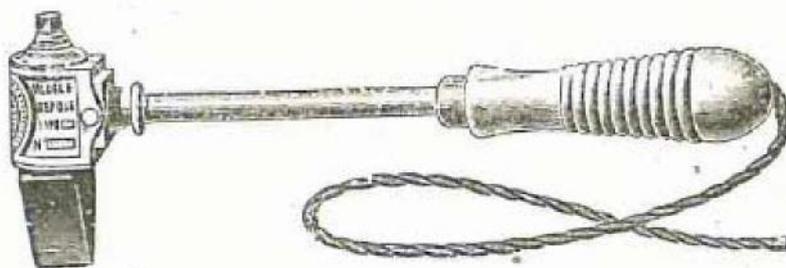


Fig. 821. — Fer à souder électrique.

Les appareils construits par la maison Parvillée frères et Cie, renferment des résistances constituées en introduisant dans une poudre métallique quelconque des corps spéciaux non conducteurs et en soumettant ces corps à une grande pression et à une haute température. Ces résistances ont pu sous l'influence du courant électrique, être poussées à de très hautes températures. A l'aide de ces résistances, MM. Parvillée et Cie ont fabriqué des appareils de chauffage de toutes sortes, des dessous de plats, des grils électriques, des



seros, des poêles, des chauffe-fers, des allume-cigares, etc. Nous donnons dans la figure 821 la vue d'un chauffe-fer électrique qui consomme 1,4 ampère à 110 volts; dans la figure 822, la vue d'un modèle de chauffe-pieds électrique qui consomme 0,5 ampère à 110 volts; et dans les figures 823 et 824 des modèles de bouilloires électriques.

Mentionnons en terminant les bûches et les calorifères électriques de M. Le Roy, basés également sur le même

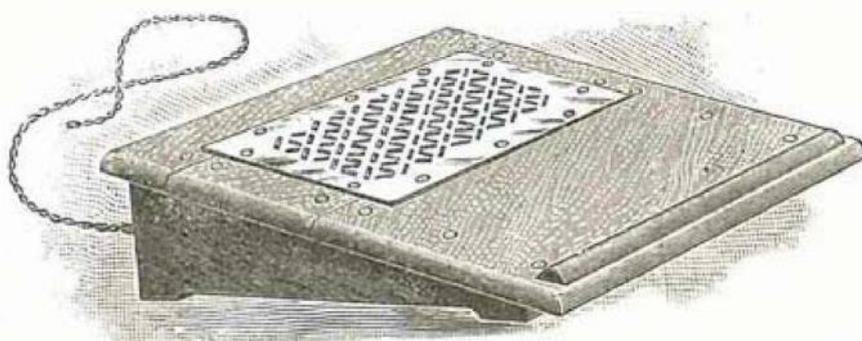


Fig. 822. — Chaufferette électrique.

principe, ainsi que les différents appareils de chauffage de M. Goisot.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'énergie électrique est encore d'un prix trop élevé pour que ces utilisations soient très répandues. Mais il est vraiment agréable, quand on ne regarde pas à la dépense, d'avoir en quelques minutes une bouillote d'eau chaude par la manœuvre d'un simple interrupteur, de pouvoir régler à volonté le chauffage d'une pièce, d'allumer un chauffe-pieds, etc., et cela sans aucun des inconvénients présentés par les systèmes ordinaires de chauffage (allumage, dégagements gazeux délétères, etc.).

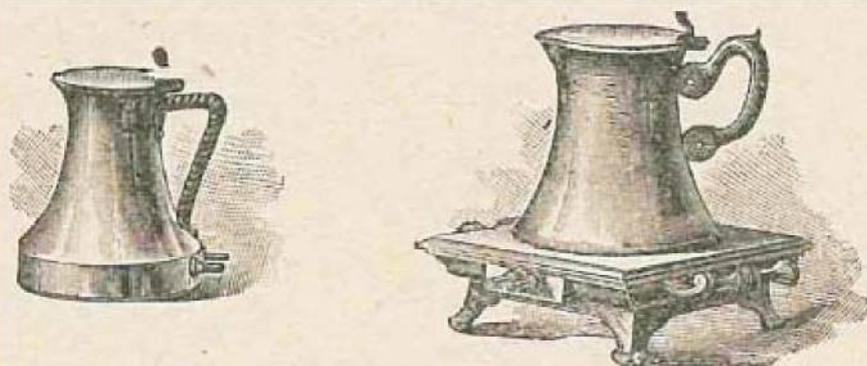
Signalons enfin que l'utilisation complète des usines de production de courant électrique, pendant les vingt-quatre heures, a été réalisée en emmagasinant dans des accumulateurs de chaleur, l'énergie disponible pendant les heures creuses.

La Compagnie du gaz de Lyon est entrée dans cette voie en assurant le chauffage de ses immeubles d'une capacité

de 19000 mètres cubes (dont 912 m² de surface vitrée) au moyen de 154 radiateurs à eau chaude, produite dans les appareils suivants.

Deux chaudières cylindriques, système Bergeon, Fredet, de 0^m,70 de diamètre et 1^m,30 de longueur, contiennent chacune 10 plaques en fonte isolées entre elles, mais groupées sur les 3 phases d'un courant triphasé 108 v, 50 périodes.

A chacune de ces deux chaudières est accolé un réservoir accumulateur d'eau chaude, de 30^m². Cette batterie alimente les 154 radiateurs de l'installation. L'eau sort des chaudières à 95° et y revient à 55° c.



Figl 823 et 824. — Bouilloires électriques.

La température extérieure étant 6° en moyenne, on a atteint régulièrement 16°,5 à l'intérieur, avec une dépense journalière de 2700 kilowatts-heures.

Aussi, pour inciter les usagers à étendre de tels dispositifs, la Cie du gaz de Lyon a-t-elle créé deux tarifs (de jour, de nuit), enregistré par compteur à double inscription.

Et nous croyons savoir que la C.P.D.E. de Paris prend des dispositions semblables.

APPLICATIONS ELECTRO-CHIMIQUES DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Les applications électro-chimiques sont également très nombreuses et nous ne pouvons ici que citer les plus importantes.

Le principe de l'électrolyse est le suivant : Lorsqu'on fait passer un courant continu dans une solution saline ou dans un sel fondu, on décompose ce sel en ses deux éléments, le métal se déposant au pôle négatif.

L'électrolyse est régie par la loi de Faraday qui indique que la masse en grammes d'un radical libéré par le passage d'une quantité d'électricité égale à un coulomb est :

$$\frac{M}{96\,537 \cdot v}$$

En appelant M la masse moléculaire du radical considéré et v sa valence. C'est ce qu'on appelle l'équivalent électrochimique que l'on peut évaluer soit en milligrammes par coulomb soit en gr. par amp-heure.

Le tableau ci-après indique ces équivalents électrochimiques pour quelques corps simples.

L'application de ce tableau se fait de la manière suivante : Supposons que nous électrolysions une solution d'azotate d'argent. Après passage de 10 amp-heures nous aurons sur la cathode un dépôt d'argent d'un poids égal au produit de l'équivalent électrochimique par la quantité d'électricité, soit ici :

$$4,0248 \times 10 = 40,248 \text{ grammes}$$

quand le métal à plusieurs valences comme le cuivre qui est monovalent dans le chlorure cuivreux ($\text{Cu}^2 \text{Cl}^2$) et bivalent dans le chlorure cuivrique ($\text{Cu} \text{Cl}^2$) l'équivalent électrochimique varie avec la valence. C'est ainsi que le dépôt de cuivre sur la cathode est de

$$2,372 \text{ grammes par amp-heure}$$

quand on électrolyse le chlorure cuivreux tandis qu'il n'est que de

$$1,186 \text{ gramme par amp-heure}$$

lorsqu'on électrolyse le chlorure cuivrique.