



ULTIMHEAT®
VIRTUAL MUSEUM

HENRI DESARCES 

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES — EX-PROFESSEUR A L'ASSOCIATION PHILOTECHNIQUE
ET A L'ÉCOLE D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE DE PARIS — PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

ENCYCLOPÉDIE PRATIQUE DE MÉCANIQUE ET D'ÉLECTRICITÉ

PUBLIÉE AVEC LA COLLABORATION DE

- MM. CANAT M., Ingénieur électricien.
CHARRON E., Ingénieur des Arts et Métiers.
COUTURIER G.,  Ingénieur agronome; Licencié
ès sciences; Ex-Professeur à l'École d'Électricité
Industrielle de Paris.
DANTY-LAFRANCE L.,  Ingénieur des Arts et
Manufactures; Licencié en Droit; Maître de Con-
férences à l'École Centrale.
de MASSIAS DE BONNE A.,  Ingénieur diplômé
de l'École Supérieure d'Électricité, Ex Chef de
Travaux pratiques à l'École d'Électricité Indus-
trielle de Paris.
DESARCES R.,  Ingénieur mécanicien.
DONADEY H., Ingénieur des Arts et Manufactures.
DOZOUL A., Ingénieur des Arts et Manufactures;
Ingénieur à la C^o des Chemins de fer de l'Est;
Ex-Répétiteur adjoint du Cours de Chemins de fer
à l'École Centrale.
DUPONT J., Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur diplômé de l'École Supérieure d'Elec-
tricité; Licencié ès sciences.
- MM. FISCHESSE M.,  I, Ingénieur des Arts et Manu-
factures, Secrétaire général des Associations fran-
çaises des propriétaires d'appareils à vapeur.
FRANÇOIS E.,  Ingénieur électricien, Professeur
d'Électricité.
JOUASSAIN R.,   Ingénieur des Arts et Métiers,
ancien Secrétaire technique de la Société des
Ingénieurs civils de France; Constructeur d'ap-
pareils de levage, manutention mécanique et
transport.
LEFAY A.,  Ingénieur des Arts et Manufactures.
LESOUPLE E.,  Ingénieur des Arts et Manufactures,
ancien Directeur d'Usines.
PIRONNEAU E.,  Ingénieur des Arts et Manufac-
tures.
VILLENEUVE A., Ingénieur des Arts et Métiers;
Ingénieur diplômé de l'École Supérieure d'Elec-
tricité; Ex-Professeur à l'École professionnelle
de Périgueux.

TOME III



LIBRAIRIE ARISTIDE QUILET

278, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 278

PARIS (VII^e)

MCMXXX

CHAPITRE VII

Chauffage électrique

CHAUFFAGE DES APPARTEMENTS — CHAUFFAGE PAR ACCUMULATION DE CHALEUR
APPAREILS DIVERS — CHAUFFAGE INDUSTRIEL.

228. Le principe du chauffage électrique est le suivant : quand on fait passer un courant électrique à travers un conducteur, celui-ci s'échauffe. La quantité de chaleur Q dégagée s'exprime en grandes calories : la grande calorie étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C la température de 1 kg. d'eau.

On sait que (N° 7) : $Q = KR I^2 t$

Pour former la résistance R , on se sert de métaux ou d'alliages ayant des résistivités élevées, afin d'avoir des longueurs de fils peu encombrantes et un coefficient de température aussi faible que possible pour éviter des courants élevés au moment de la mise en service. Le tableau suivant donne les valeurs de ces 2 quantités pour les métaux ou alliages les plus employés.

	Résistivité à 0° en microhms-cm	Coefficients de température
Maillehort . . .	30	0,000.273
Rhéostatine A . . .	48	0,000.01
Constantan . . .	50	0
Rhéostatine B . . .	86	0,000.7
Chrome-nickel . . .	110	0,000.25
Nickron . . .	121	0,000.124

Le coefficient de température que l'on désigne généralement par la lettre a permet de déterminer la résistivité ρ_t du métal considéré à une température quelconque, d'après la formule

$$\rho_t = \rho_0 (1 + at)$$

ρ_0 désignant la résistivité à 0° .

Cherchons la puissance électrique nécessaire pour produire une grande calorie.

L'équivalent mécanique de la chaleur s'exprime ainsi :

1 grande calorie équivaut à 425 kgm

D'autre part, on sait que :

1 cheval = 75 kgm/sec = 736 watts

D'où :

$$D'où : 1 \text{ kgm/sec} = \frac{736}{75} = 9,81 \text{ watts}$$

Donc une grande calorie est équivalente à
 $425 \times 9,81 = 4.160 \text{ watts}$

Il faut donc dépenser 4.160 watts pendant une seconde, pour produire 1 grande calorie.

1 kilowatt-heure ou $1000 \times 3600 =$
3.600.000 watts-seconde produit donc :

$$\frac{360.0000}{4.160} = 865 \text{ grandes calories.}$$

Nous allons chercher quelle consommation de courant il est nécessaire de consentir pour produire un effet calorifique utile identique à celui correspondant à la combustion de 1 kg. de houille.

L'expérience montre que 1 kg. de houille dégage en brûlant environ 7.000 grandes calories, mais en raison du mauvais rendement des appareils à combustion, il ne faut compter dans un poêle ou dans une cheminée Fondet, que sur l'utilisation effective de 2.000 grandes calories environ. (Cette utilisation s'abaisse à 700 grandes calories et moins dans une grille de cheminée ordinaire, mais nous ne retiendrons pas ce cas extrême).

D'autre part, un appareil électrique d'une puissance de 1 kWh fonctionnant pendant une heure, transforme intégralement 1 kWh en chaleur, c'est-à-dire fournit 865 grandes calories.

Le kg. de houille produit donc le même effet qu'une consommation de courant de
 $\frac{2000}{865} = 2,3 \text{ kWh.}$

Il semble donc que le chauffage électrique ne doive s'appliquer que là où le prix de l'électricité est très bas et celui de la houille élevé. Cependant il est un peu partout répandu en raison de sa commodité et de sa propreté, toute manipulation de combustible étant supprimée, de sa facilité de mise en service, de réglage et d'arrêt supprimant toute perte d'énergie. Il faut ajouter à ces qualités, le volume restreint des appareils de chauffage électrique, la facilité avec laquelle on peut les déplacer, un fil souple suffisant à leur amener le courant, enfin l'absence complète de produits de combustion.

Les applications les plus importantes sont le chauffage des appartements, la cuisine électrique et le chauffage industriel.

229. CHAUFFAGE ELECTRIQUE DES APPARTEMENTS. — La puissance nécessaire pour chauffer une pièce dépend naturellement de l'orientation de celle-ci, du nombre de fenêtres, etc. En général, il faut compter pour



Chauffage électrique des appartements

Sur la température d'une chambre de 1 degré centigrade, 5 watts par mètre cube. Par exemple, supposons que l'on désire élever la

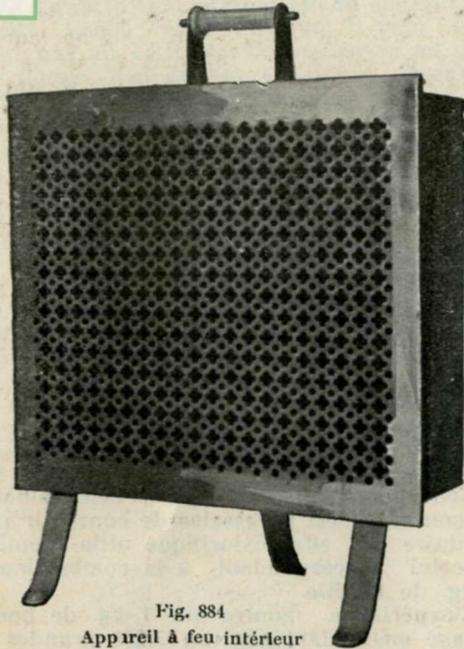


Fig. 884
Appareil à feu intérieur
(Parvillée)

température d'une chambre de 4 m × 3 m 50 × 3 m de 10 degrés. Le volume du local étant de 42 mc., la puissance devra être de
 $42 \times 10 \times 5 = 2.100$ watts

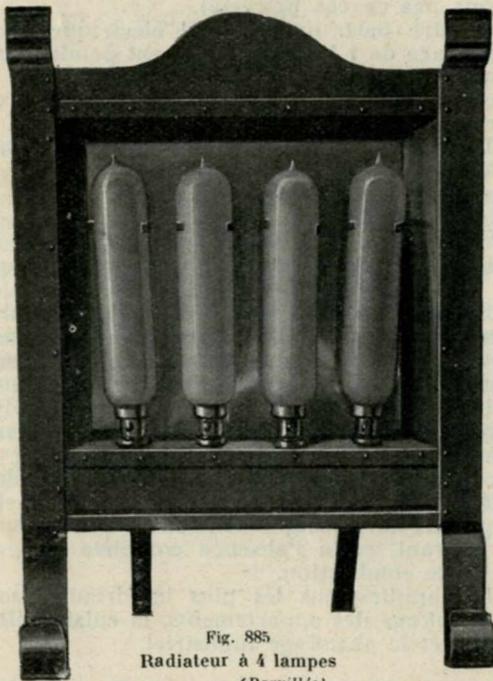


Fig. 885
Radiateur à 4 lampes
(Parvillée)

Il est évident que la température désirée une fois atteinte, on pourra réduire la consommation des deux tiers, par exemple.

Dans nos climats, l'expérience a montré qu'il faut compter en moyenne sur une consommation de 30 watts par mètre cube de pièce à chauffer et par heure.

Les radiateurs sont de différents modèles. Ils sont constitués par des fils généralement en constantan, chromenickel ou nickron, rhéostatine, placés sur isolateurs (fig. 884) ou enroulés autour de pièces en terre réfractaire. L'élément chauffant peut encore être mis sous forme de toile, le fil résistant formant la trame et un fil d'amiante constituant la chaîne.

Dans les radiateurs *thermoquartz*, les fils sont enrobés dans des cylindres en quartz fondu semblables à des bougies. Ces appareils fournissent une faible lumière et sont peu encombrants; ils permettent d'utiliser des métaux de peu de valeur, oxydables à l'air.

On emploie encore comme radiateurs, de grosses lampes à incandescence spéciales à verre dépoli (fig. 885); ces appareils ont un moins bon rendement que les radiateurs précédents puisqu'une partie de l'énergie se trouve perdue en lumière, mais ils présentent l'avantage de jeter une certaine note gaie dans la pièce à chauffer.

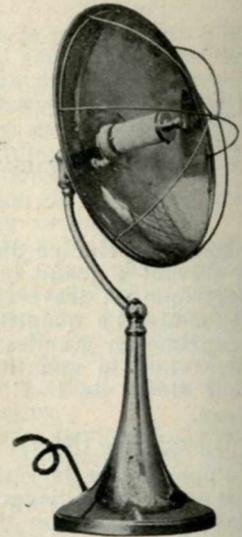


Fig. 886
Radiateur projecteur
(Mildé)

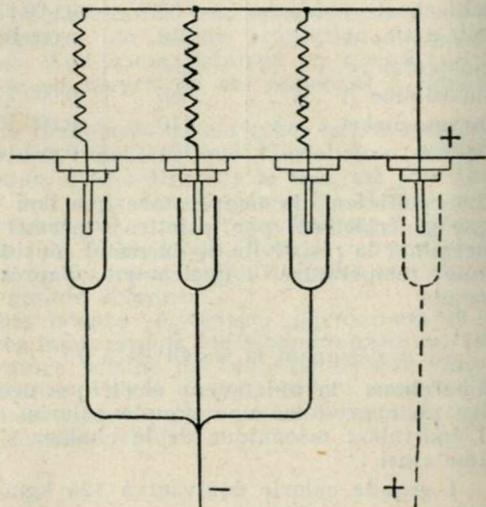


Fig. 887

Dans ces derniers temps, sont apparus dans le commerce, des *radiateurs paraboliques*, comprenant une résistance placée au foyer d'un réflecteur parabolique (fig. 886); ils permettent de concentrer la chaleur sur une partie du corps, par exemple sur les pieds.



Les radiateurs électriques permettent d'obtenir plusieurs allures de chauffage par la manœuvre d'interrupteurs ou par le déplacement de fiches de contact.

Les éléments chauffants forment plusieurs circuits qui sont montés en parallèle avec un pôle commun marqué + par exemple. Cette fiche sera réunie à un des pôles du réseau, toutes les autres fiches étant réunies à l'autre pôle. En utilisant 1, 2, 3 fiches, comme l'indique la figure 887, on met en service 1, 2, 3 circuits. Enfin, en faisant fonctionner 2 circuits en série, comme l'indique la figure 888, on obtient la plus faible allure de chauffage.

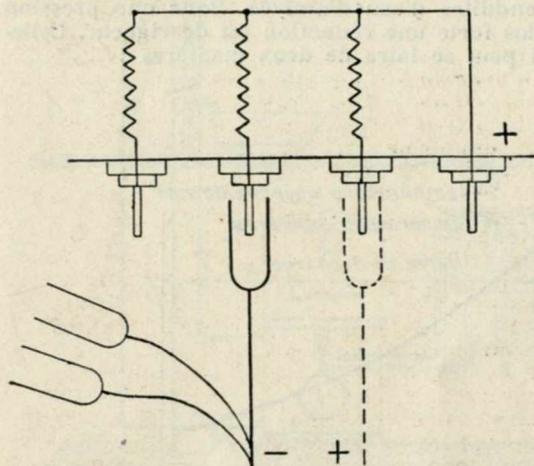


Fig. 888

230. CHAUFFAGE PAR ACCUMULATION DE CHALEUR.

Certains secteurs, et en particulier ceux qui sont desservis par des usines hydro-électriques, sont en mesure de donner pendant la nuit, alors qu'ils ont de l'excédent, de l'énergie à bas prix. De là est née l'idée d'établir des appareils accumulateurs de chaleur permettant aux abonnés de bénéficier des tarifs avantageux, en branchant ces appareils aux heures de tarif minimum. La chaleur ainsi accumulée est dépensée pendant le reste du temps où le tarif est élevé.

L'absorbant calorifique peut être soit un corps solide, soit un corps liquide, entouré d'un isolant calorifuge. La chaleur accumulée dans un poids p d'un corps donné sera, pour une différence de température t entre l'instant initial et l'instant final de la charge, égal à $p c t$.

c , étant la chaleur spécifique du corps.

Comme substances solides on emploie le sable, les briques, la pierre ollaire, et comme liquide, principalement l'eau.

La chaleur spécifique et le poids spécifique correspondant à ces corps sont :

	Chaleurs spécifiques	Poids spécifiques
Sable	0,18	1,4 2
Briques	0,22	1,5 à 2
Pierre claire	0,28	2,7
Eau	1	1

Le fourneau Primulus par exemple est constitué par un noyau en pierre ollaire, recouvert d'une enveloppe en éternit. Entre le noyau et l'enveloppe il y a une couche d'air de 2 cm. afin de retarder l'émanation de la chaleur. Le noyau est formé de 8 plaques en pierre dont 2 ne sont pas munies d'enroulement; les autres portent à leurs faces inférieures les résistances de chauffe en fil de nikron. Pour obtenir une décharge complète du fourneau, il faut ouvrir une porte-coulisse par laquelle l'air ambiant peut entrer et refroidir le noyau.

Le poêle de 3 kW présente les caractéristiques suivantes d'après les essais faits par l'Association Suisse des Electriciens :

- Capacité de charge moyenne $P = 3.125$ kW
- Durée de charge effective . . $T_1 = 8$ h
- Energie absorbée au total . . $Q = 25.0$ kWh
- Energie accumulée réellement après 8 h de charge . . . $Q_c = 16.0$ kWh
- $\frac{Q_c}{Q}$ $\eta = 0.64$

- Accumulation d'Energie maximum possible $Q_{cm} = 29.3$ kWh
- Durée de décharge théorique

$$T = \frac{Q_c}{P_p} \dots T = 15.4 \text{ h}$$

- Surface extérieure rendant la chaleur $O = 240$ dm²

- Effet de sortie spécifique après 8 h de charge $P = 8.5$ W/dm²

- Effet à l'état stationnaire . . $P_m = 13.0$ W/dm²

- Volume actif $V = 100$ dm³

Accumulation spécifique $q_c = \frac{Q_c}{V}$ après 8 h de charge . . $q_c = 160$ Wh/dm³

- Température moyenne de la surface après 8 h de charge $\delta_a = 74.5^\circ$ C

- à l'état stationnaire $\delta_{am} = 105^\circ$ C

- Température maximum de la surface après 8 h de charge 110.5° C

- à l'état stationnaire 154° C

- Température maximum du fil de chauffe après 8 h de charge 346° C

- à l'état stationnaire 465° C

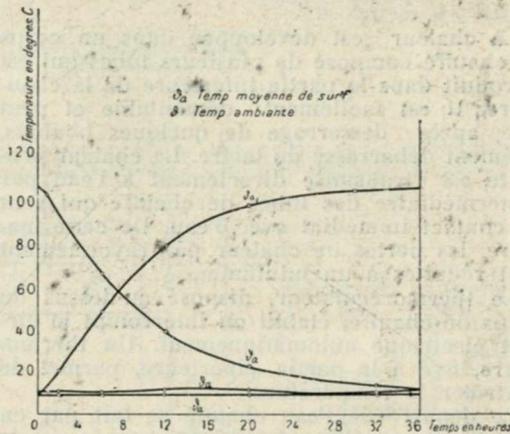


Fig. 889

Courbes de température lors de la charge jusqu'à l'état stationnaire et décharge complète ensuite

La fig. 889 donne les courbes de température lors de la charge et de la décharge, et la fig. 890 les courbes de température en service périodique.



ULTIMHEAT®
VIRTUAL MUSEUM

Les appareils à volant d'eau sont employés dans les chauffe-eau. Le chauffe-eau électrique *Cumulus* se compose d'un récipient vertical cylindrique en forte tôle, soudée à l'autogène, complètement galvanisée, et éprouvé sous une pression de 10 kg/cm².

Le récipient contenant l'eau est muni du corps de chauffe d'un thermomètre de contrôle et d'un régulateur de température, ce dernier étant relié électriquement à un interrupteur automatique qui est monté à part. Le régulateur de température est constitué par un petit interrupteur à lame flexible qui est commandée au moyen d'un amplificateur par une tige en métal spécial dont on utilise la dilatation. Les contacts sont en argent et sont suffisants pour le courant auxiliaire servant à actionner l'interrupteur.

est fait au moyen du thermorégulateur précité. Celui-ci provoque le déclenchement de l'interrupteur automatique à la température maxima et son enclenchement à 5° en dessous. Le maximum peut être réglé entre 10 et 150° C. Le même interrupteur automatique peut en même temps être commandé par une horloge commutatrice (interrupteur horaire) qui limite le débit du courant aux heures fixées par l'usine électrique.

On choisit en général la température maxima à 90° C. pour être certain que l'eau n'atteint pas le point d'ébullition.

Jusqu'à une pression d'eau de 5 kg/cm², le chauffe-eau peut être relié directement aux conduites d'eau d'arrivée. Pour une pression plus forte une réduction est rigueur. Celle-ci peut se faire de deux manières :

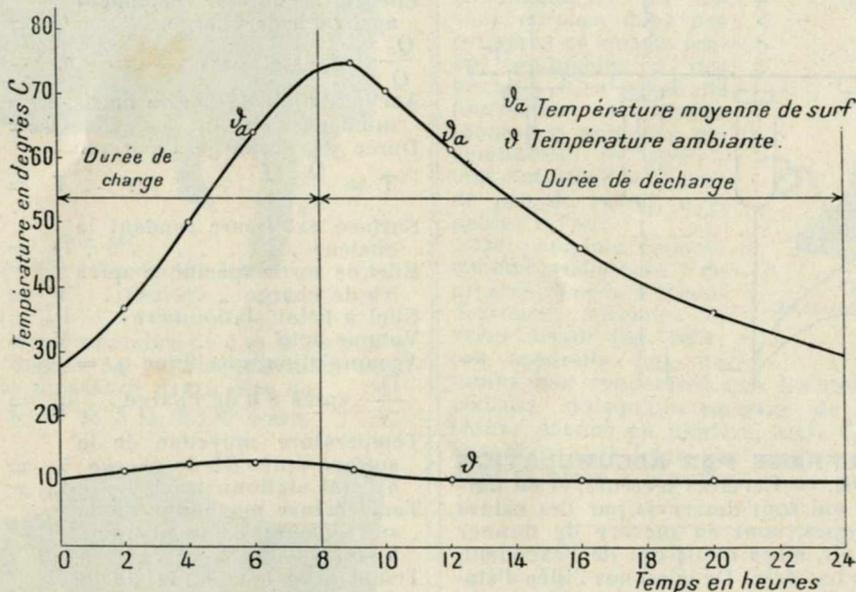


Fig. 890

Courbes de température en service périodique (charge pendant 8 h. décharge pendant 16 h.)

La chaleur est développée dans un corps de chauffe composé de plusieurs tubes qui est introduit dans la partie inférieure de la chaudière. Il est facilement démontable et peut être, après desserrage de quelques boulons, aisément débarrassé du tartre. La chaleur produite est transmise directement à l'eau par l'intermédiaire des tubes de chauffe qui sont en contact immédiat avec l'eau. De cette manière, les pertes de chaleur par rayonnement sont réduites à un minimum.

Le thermorégulateur, disposé au-dessus du corps de chauffe, établit ou interrompt le circuit électrique automatiquement. Un thermomètre, fixé à la partie supérieure, permet de contrôler la température.

Le départ de l'eau chaude se fait par en haut tandis que l'eau froide est amenée par le bas.

Dans les localités où l'emploi du courant est limité (aux heures de la nuit par exemple), il faut encore un interrupteur horaire, livré généralement par l'usine électrique qui fournit le courant.

Le réglage automatique de la température

a) avec réservoir à flotteur que l'on placera au-dessus du plus haut robinet d'eau chaude, comme le démontre la fig. 933;

b) avec soupape de réduction, celle-ci réduisant la pression à 2 ou 3 kg/cm².

On placera une soupape de sûreté dans la conduite d'eau froide. Un manomètre contrôlera la pression de l'eau froide, ce qui toutefois n'est pas indispensable. La fig. 892 représente une installation de ce genre.

Comme on peut le voir par les fig. 891 et 892, on disposera de préférence le départ de l'eau chaude du même côté que l'arrivée de l'eau froide, et aussi près que possible de la canalisation.

La fig. 893 représente un chauffage-eau électrique «Cumulus» combiné avec une installation de chauffage central. L'eau d'alimentation de l'appareil est chauffée par un petit bouilleur, dans lequel est disposé un serpentin raccordé au chauffage central. Cette combinaison permet de réaliser des économies en hiver, alors que le chauffage central est en fonction, pourvu que le prix du combustible ne soit pas trop élevé. Plusieurs installations



de ce genre ont démontré la raison d'être de cette combinaison.

Les raccords des tuyaux ainsi que les sou-

papes seraient disposés de telle façon que l'une ou l'autre des combinaisons soit possible.

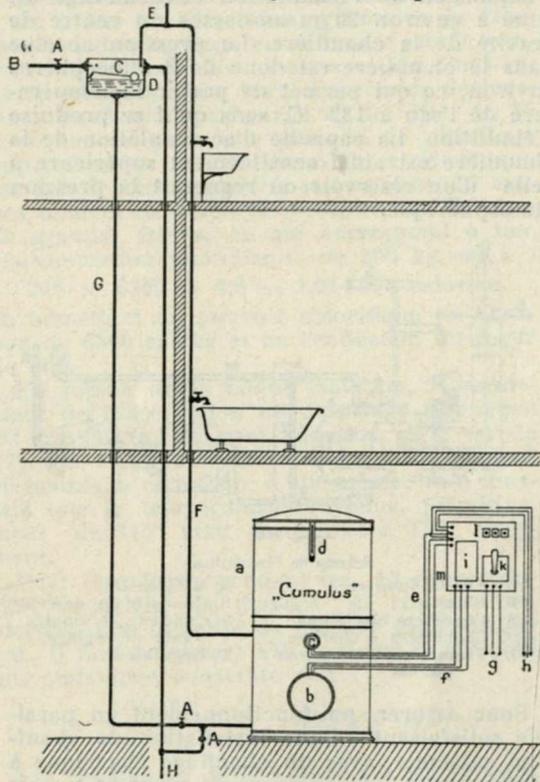


Fig. 891

Tuyauterie:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| A Robinet | E Tuyau d'expansion |
| B Conduite d'aménée | F Conduite d'eau chaude |
| C Réservoir à flotteur | G Conduite d'eau froide |
| D Trop-plein | H Tuyau de vidange |

Appareils électriques

- | |
|---|
| a Chauffe-eau électrique |
| b Corps de chauffe |
| c Régulateur de température |
| d Thermomètre de contrôle |
| e Conduite électrique pour l'interrupteur automatique |
| f » » » l'alimentation du corps de chauffe |
| g » » » venant du compteur |
| h » » » de l'interrupteur horaire |
| i Interrupteur automatique |
| k Interrupteur à main |
| l Coupe-circuits |
| m Tableau |

Tuyauterie

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| A Robinet | N Serpents |
| F Conduite d'eau chaude | O Réchauffeur |
| G Conduite d'eau froide | P Conduite de retour |
| H Tuyau de vidange | Q Conduite allant aux radiateurs |
| L Soupape de sûreté | R Chaudière du chauffage central |
| M Entonnoir d'égouttement | |

Appareils électriques

- | |
|---|
| a Chauffe-eau électrique |
| b Corps de chauffe |
| c Régulateur de température |
| d Thermomètre de contrôle |
| e Conduite électrique pour l'interrupteur automatique |
| f » » » l'alimentation du corps de chauffe |
| g Conduite électrique venant du compteur |
| h » » » de l'interrupteur horaire |
| i Interrupteur automatique |
| k Interrupteur à main |
| l Coupe-circuits |
| m Tableau |

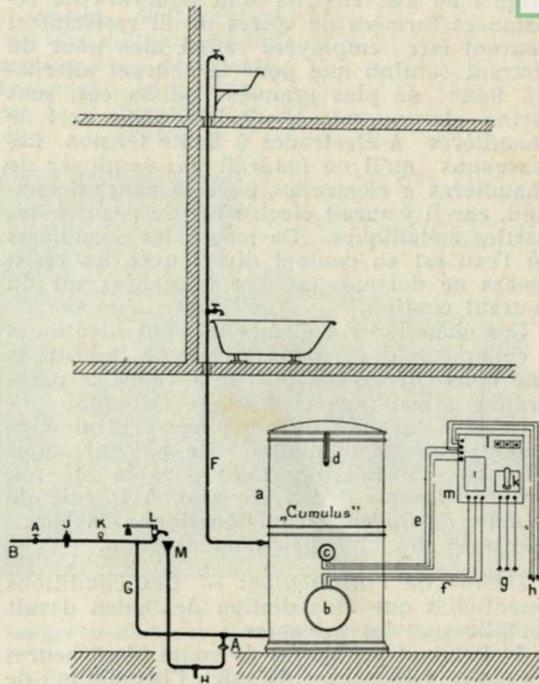


Fig. 892

Tuyauterie:

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| A Robinet principal | I Soupape de réduction de pression |
| B Conduite d'aménée | K Manomètre |
| F Conduite d'eau chaude | L Soupape de sûreté |
| G Conduite d'eau froide | M Entonnoir d'égouttement |
| H Tuyau de vidange | |

Appareils électriques

- | |
|---|
| a Chauffe-eau électrique |
| b Corps de chauffe |
| c Régulateur de température |
| d Thermomètre de contrôle |
| e Conduite électrique pour l'interrupteur automatique |
| f » » » l'alimentation du corps de chauffe |
| g » » » venant du compteur |
| h » » » de l'interrupteur horaire |
| i Interrupteur automatique |
| k Interrupteur à main |
| l Coupe-circuits |
| m Tableau |

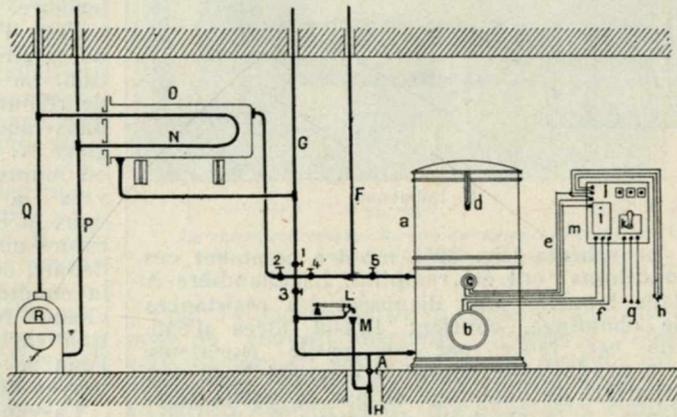


Fig. 893

- | | |
|------------------------------|---|
| Réchauffeur en fonction: | Soupapes 1 et 4 fermées; 2, 3 et 5 ouvertes |
| Réchauffeur hors de service: | Soupapes 2 et 4 fermées; 1, 3 et 5 ouvertes |
| Chauffe-eau hors de service: | Soupapes 1, 3 et 5 fermées; 2 et 4 ouvertes |



ULTIMHEAT® Chauffage central. — Les chaudières pour usages central se construisent pour les puissances les plus diverses, les plus petites jusqu'à 50 kw. environ sont pourvues de résistances formées de spires de fil résistant et peuvent être employées aussi bien pour du courant continu que pour le courant alternatif. Pour de plus grandes puissances, sous forme de courants alternatifs, on se sert de chaudières à électrodes à haute tension. Remarquons qu'il ne faudrait pas employer de chaudières à électrodes pour le courant continu, car il y aurait électrolyse de l'eau et des parties métalliques. De même, les chaudières où l'eau est en contact direct avec les résistances ne doivent pas être branchées sur du courant continu.

Ces chaudières à électrodes sont identiques à celles employées dans les usages industriels que nous décrivons plus loin dans le paragraphe « Chauffage industriel » (N° 233).

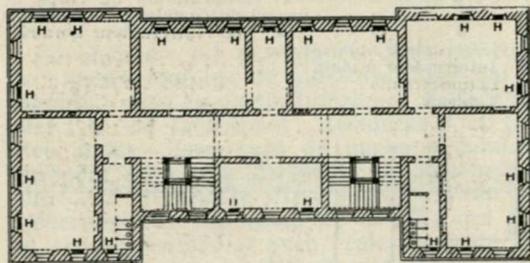
Comme exemple de chauffage central électrique par accumulation de chaleur, nous citerons l'installation faite par la Sté An. Brown, Boveri, Baden (Suisse), à l'Ecole de District de Baden (1) qui fonctionne en parallèle avec des chaudières au charbon.

Détails de l'installation. — Les conditions essentielles que l'installation de Baden devait remplir sont les suivantes :

1° Pendant les heures de cours (de 8 heures du matin à 10 heures du soir), l'installation de chauffage électrique doit être capable de maintenir dans les salles une température minimum de 15 à 16° C., quand la température extérieure n'est pas inférieure à - 7° C.

2° Le réservoir à eau doit être dimensionné de façon que la condition 1 puisse être remplie, quand la durée d'accumulation de chaleur a lieu de 6 heures du soir à 6 heures du matin et éventuellement de midi à 1 heure ¼.

3° L'installation de chauffage électrique doit pouvoir travailler seule ou en parallèle avec l'installation de chauffage au charbon.



ig. 894
Plan du 1^{er} étage de l'école de District de Baden
H radiateurs

Le schéma (fig. 895) montre comment ces conditions ont été remplies. La chaudière A dans laquelle sont disposées les résistances de chauffage, contient 15.600 litres d'eau. Elle est reliée par sa partie supérieure à la conduite de départ S amenant l'eau aux appareils de chauffage et par sa partie inférieure à la conduite de retour R. De cette façon, l'eau de cette chaudière est soumise

aux mêmes pressions que celle des chaudières O₁ et O₂ chauffées au charbon. Le réservoir d'expansion de l'installation de chauffage est situé à environ 20 m au-dessus du centre de gravité de la chaudière. La pression absolue dans la chaudière est donc de 3 atmosphères environ, ce qui permet de porter la température de l'eau à 132° C. sans qu'il se produise d'ébullition. La capacité d'accumulation de la chaudière est ainsi sensiblement supérieure à celle d'un réservoir où règnerait la pression atmosphérique.

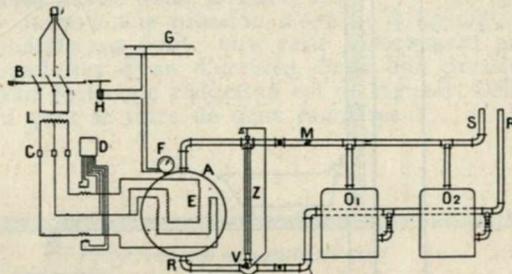


Fig. 895

Schéma de l'installation

- | | |
|---|------------------------|
| G Fils de lumière | M Mélangeur |
| H Relais | R Conduite de descente |
| A Chaudière électrique | S Conduite de montée |
| O ₁ et O ₂ Chaudières à charbon | V Vanne de réglage |
| L Transformateurs monophasés | Z Régulateur |

Pour assurer un fonctionnement en parallèle satisfaisant d'une installation de chauffage existante avec un chauffage électrique à accumulation de chaleur, uniquement par la gravité, sans installer une pompe de circulation, il faut que le centre de gravité de la chaudière d'accumulation ne soit pas situé au-dessus de celui des chaudières du chauffage au charbon. Dans les installations où la réalisation de cette condition occasionnerait des frais trop considérables, il faudra y renoncer et avoir recours à une pompe de circulation. Cette pompe sera commandée de préférence par un moteur électrique, à réglage automatique de la vitesse en fonction de la température que l'on désire obtenir dans la conduite S amenant l'eau aux éléments de chauffage. La mise au point de cette température de régime se fera suivant la température extérieure.

Pour l'installation de Baden, il n'a pas été nécessaire de prévoir une pompe de circulation. La conduite de départ S et la conduite de retour R sont reliées par une conduite Z dans laquelle est aménagée la vanne de réglage V. Cette vanne permet de diriger plus ou moins d'eau de la conduite de retour R vers la chaudière, le surplus faisant retour dans la conduite d'amenée. Suivant la température qu'on veut obtenir dans la conduite de départ, on y introduit plus ou moins d'eau de la conduite de retour R; la quantité d'eau chaude fournie par le réservoir d'accumulation varie en sens inverse. Le mélange de l'eau se fait dans la conduite de départ au moyen du mélangeur M.

La vanne de réglage V est dimensionnée de façon à fermer automatiquement la conduite Z quand on ouvre la conduite R et d'une quantité équivalente à l'ouverture de la con-

(1) Voir la Revue BBC de la C^{ie} Electromécanique



duite R. Une tige métallique placée dans la conduite Z provoque par sa dilatation le déplacement automatique de la vanne V.

On a fixé les dimensions générales de l'installation de chauffage en se basant sur la consommation annuelle moyenne de charbon. Cette consommation était, d'après les déclarations du Service Industriel de la ville, de 35 à 40 tonnes pour une période de chauffage approximative de 200 jours. On a admis que les 2/3 de cette quantité, soit environ 26 tonnes, avaient été employés pendant les 100 jours de grands froids, ce qui correspond à une consommation quotidienne de 260 kg. ou à :

$$260 \times 6500 \times 0,6 = 1.014.000 \text{ calories}$$

en admettant un pouvoir calorifique du charbon de 6500 cal/kg et un rendement du foyer de 60%.

En raison de la bonne isolation, le rendement de l'installation de chauffage électrique est très élevé; on peut admettre qu'il est de 97% au minimum. En abandonnant pendant 16 heures la chaudière à elle-même, on a constaté que la température moyenne, primitivement de 115° était descendue à 112° seulement.

Pour produire, pendant les 13 heures durant lesquelles on dispose de courant bon marché, une quantité de chaleur de 1.014.000 cal., il faut (comme 1 kW équivaut à 860 cal.) une puissance constante de :

$$\frac{1.014.000}{13 \times 860 \times 0,97} = 100 \text{ kW environ}$$

Les résistances de chauffage ont été prévues pour une puissance de 110 kW.

La contenance de la chaudière est de 15.600 litres, celle de la tuyauterie et du réservoir d'expansion de 5.000 litres environ. Comme l'eau est refroidie jusqu'à 60° C., même quand la température extérieure est basse, on peut compter sur une faculté d'accumulation de l'installation de

$$\frac{20.000 \times (110 - 60)}{0,97} = 1.030.000 \text{ calories}$$

si la température maximum de l'eau dans la chaudière est de 110° C.

Une grande partie de la chaleur dégagée sert à maintenir la température des locaux de l'école à 13° pendant la durée de l'accumulation de chaleur, c'est-à-dire pendant la nuit; c'est pourquoi la température maximum de l'eau de la chaudière de cette installation n'atteint jamais la valeur de 110°. On pourrait donc porter sans crainte la puissance de chauffage à 150 kW par l'adjonction d'un élément de chauffage supplémentaire, ce qui permettrait de couvrir les pointes les plus élevées pour des températures extérieures extrêmes allant jusqu'à — 15°. Cependant, il est préférable pour des installations de ce genre de ne se servir de l'énergie électrique que pour la charge moyenne et de recourir au chauffage au charbon pour satisfaire aux pointes par les grands froids lorsque l'énergie de chauffage demandée est très élevée. On évite ainsi l'emploi irrationnel de l'énergie de nuit.

On remarque que l'eau froide, qui arrive pendant le jour à la chaudière par la partie

inférieure, ne se mélange pratiquement pas à l'eau chaude qui s'y trouve. Il existe au contraire une délimitation marquée des deux zones. Un thermomètre F, placé à la partie supérieure de la chaudière, baisse rapidement dès qu'il est atteint par le niveau de séparation des deux zones; il indique ainsi exactement le moment où la réserve de chaleur de la chaudière est épuisée et où il faut mettre en service le chauffage au charbon.

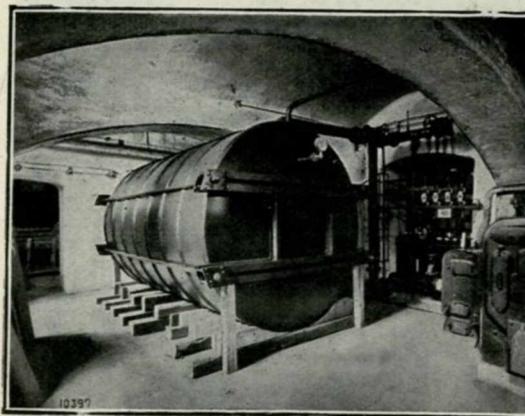


Fig. 896

Vue de l'installation avant la pose de l'enveloppe isolante

L'isolation de la chaudière se compose d'une couche d'asbeste et de liège autour de laquelle est disposée une couche de sciure de bois mesurant au moins 200 mm. On a évité de mettre la sciure de bois en contact direct avec la chaudière, à cause de la carbonisation à laquelle elle est sujette à la longue. L'ensemble est renfermé dans une caisse en bois (fig. 896 et 897).

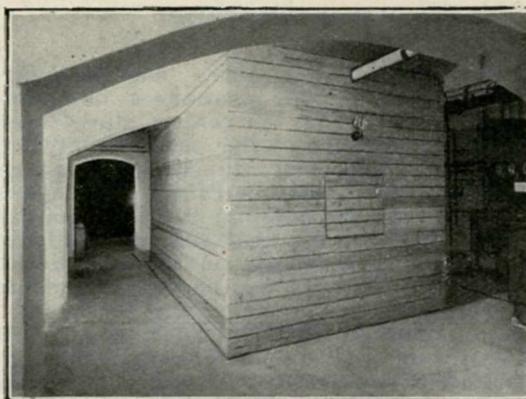


Fig. 897

La chaudière revêtue de son enveloppe isolante
(Compagnie Electro-Mécanique)

Pour l'alimentation de la chaudière, on dispose de courant alternatif diphasé à 2.000 volts de tension entre phases. Le courant est amené aux bornes de deux transformateurs, construits chacun pour une puissance continue d'environ 50 kW et où la tension est abaissée à 220 volts. Chacun de ces transformateurs alimente un élément de chauffage.

Les appareils auxiliaires sont :

thermostat en relation avec l'interrupteur principal qu'il fait ouvrir dès que la température de l'eau dans la chaudière atteint la valeur maximum déterminée.

un compteur enregistrant l'énergie prise au réseau.

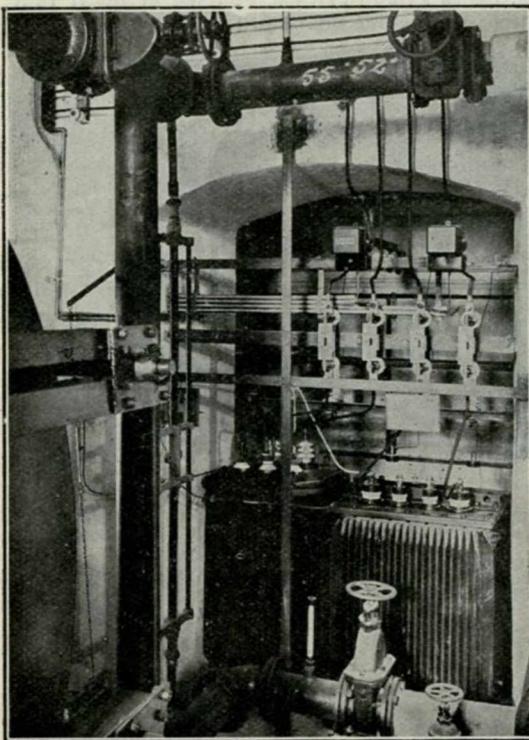


Fig. 898

Vue des transformateurs

Cette installation présente une particularité intéressante : les résistances de chauffage en spirales sont en contact direct avec l'eau de la chaudière. Par cette disposition, une partie seulement du courant traverse ces résistances tandis que l'autre partie passe par l'eau. La conductibilité de l'eau augmente avec la température, celle du fer diminue; on peut de la sorte, par un choix judicieux des dimensions des résistances, maintenir l'énergie absorbée à une valeur constante.

Il est important d'assurer une bonne mise à la terre de la chaudière et des conduites de chauffage afin de mettre à l'abri de secousses toute personne qui viendrait à toucher une conduite pour les besoins du service ou par inadvertance.

Fonctionnement et consommation d'énergie de l'installation. — Après différents essais, l'installation de chauffage électrique de la maison d'école de Baden est restée en service ininterrompu du 12 décembre 1917 au 7 avril 1918. Les résultats obtenus ont donné pleine satisfaction à tous les points de vue. Dans cette période, on a remis en service à plusieurs reprises le chauffage au charbon pour des essais de courte durée. Le 5 janvier 1918,

la température extérieure étant descendue pendant la nuit à -16° , il a fallu avoir recours au chauffage au charbon et mettre en service une des chaudières. La consommation totale d'énergie pendant la période de chauffage 1917-1918 a atteint 134.200 kW. Si l'on tient compte que, d'une part, la période de chauffage commence déjà dans le courant d'octobre et que, d'autre part, la chaudière est restée longtemps sans isolation, en vue d'essais à effectuer, on peut estimer la consommation d'énergie en service normal à environ 150.000 kW par hiver. Les usines électriques de la ville fournissent le courant de nuit au prix de 2,5 centimes le kW, ce qui porte le prix de l'énergie pour une saison de chauffage à $150000 \times 0,025 = 3.750$ francs. Le chauffage au charbon demande en moyenne 37500 kg de coke. Le coke déchargé dans les caves de l'école, revenait au moment des transformations des installations de chauffage à 260 francs les 1000 kg; le prix de revient total pour une saison était donc : $37,5 \times 260 = 9750$ francs.

Les frais d'installation du chauffage électrique se sont élevés à 18.000 francs.

L'installation reviendrait actuellement probablement plus cher. Cependant, tant que le prix du charbon restera élevé, la dépense causée par une de ces installations sera récupérative dans les réseaux où l'énergie électrique est bon marché pendant la nuit. Ces installations ne demandent en outre qu'une surveillance minime. Au point de vue de l'économie publique, elles ont un grand intérêt.

L'école de Baden possède en tout 19 salles de cours et 9 locaux auxiliaires, d'un cubage total de 7500 m³, devant tous être chauffés. Les murs extérieurs sont en pierre de taille

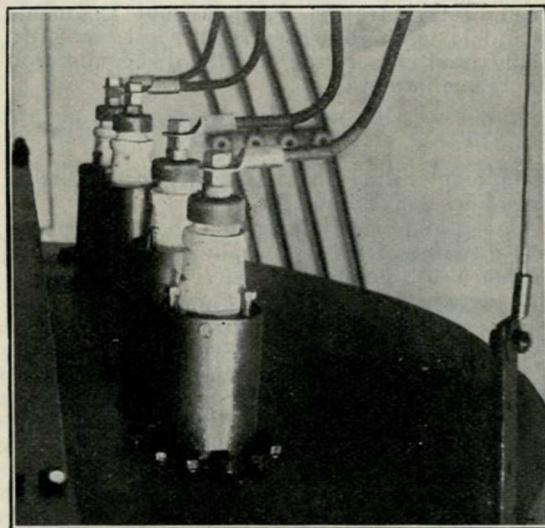


Fig. 899

Isolateurs d'entrée (Cie Electro-Mécanique)

avec fenêtres simples et fenêtres amovibles pour l'hiver. La façade principale est orientée vers le sud. La surface totale de chauffage des radiateurs et de la tuyauterie est de

$$337 + 60 = 397 \text{ m}^2$$

231. CUISINE ELECTRIQUE. — On distingue d'une manière générale, quatre espèces d'ustensiles de cuisine électrique: les plaques chauffantes, les appareils à feu nu, les récipients à chauffage direct et les bouilleurs.

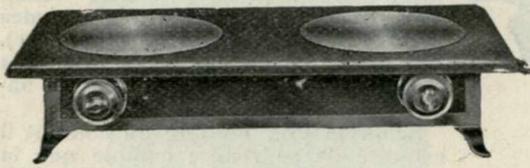


Fig. 900

Fourneau électrique « Spark ». 2 plaques de chauffe de 22 cm de diamètre. Consommation totale 2000 watts. 3 réglages par interrupteur à chaque plaque (Paz et Silva)

Les plaques chauffantes sont chauffées, à l'instar des plateaux d'une cuisinière ordinaire, par les éléments de chauffage adaptés à la partie inférieure et qui transmettent la chaleur absorbée à un ustensile de cuisine quelconque. Ce système exige, pour avoir un bon rendement, un contact aussi parfait que possible entre le plateau et l'ustensile (fig. 900).



Fig. 901

Bouilloire électrique de 2 1/2 litres de capacité et de 800 watts (Paz et Silva)

Les appareils à feu nu sont composés d'un bâti supportant les résistances enroulées en boudins ou tendues par des cordons d'amiante

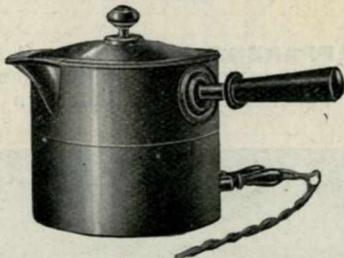


Fig. 902

Bouilloire électrique de 1/2 litre de capacité à poignée fixe

à la façon d'une toile et qui sont portées au rouge. La transmission de chaleur se fait alors par radiation. Certains de ces appareils dans lesquels les éléments chauffants sont pla-

cés à la partie supérieure d'une caisse métallique, peuvent combiner le réchaud, le grill et le four à la fois.

Les récipients à chauffage direct par le fond ou les parois sont munis de leurs éléments de chauffage propres logés dans une double paroi. Ils sont presque toujours en métal nickelé ou poli, de façon à radier le moins



Fig. 903

Théière électrique « Spark » (Paz et Silva)

de chaleur possible. En général, la résistance est sous la forme d'un ruban ou d'un filament enroulé sur une substance isolante: mica ou amiante et isolé au mica. Les ustensiles de ce type les plus répandus sont les bouilloires, cafetières, théières (fig. 901 à 903).

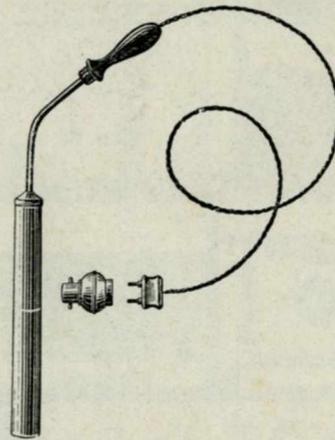


Fig. 904

Chauffeur plongeant pour chauffer les liquides (Paz et Silva)

Les bouilleurs sont constitués par un corps de chauffe: plateau ou tige que l'on plonge dans un récipient de cuisine quelconque (fig. 904).

Chacune de ces espèces a ses avantages et ses inconvénients. Quand on veut transformer la cuisine ordinaire en cuisine à l'électricité, l'emploi de plaques chauffantes ou d'appareils à feu nu est avantageux parce que l'on peut continuer de cuisiner en se servant des ustens-



existants. L'inconvénient, c'est que la consommation de courant est plus forte que par le chauffage direct. Les grils, les fours ont

La grillade des viandes rouges (bœuf, mouton) est obtenue rapidement avec une consommation de 350 à 400 Wh par kilo de viande. Un rôtissage parfait demande environ 300 à 325 Wh. par kilo pour les viandes légères (volailles, veau), 400 à 425 Wh. par kilo de viandes lourdes (venaison, bœuf, mouton, porc). La cuisson des pâtisseries n'exige que 200 à 350 Wh. par kilo suivant la nature de la pâte.

Selon le prix unitaire du courant il est aisé de se rendre compte que la cuisine électrique avec les fours-grills du type «Fax», par exemple, n'est pas plus coûteuse que la cuisine au gaz. En effet, alors qu'un kilo de viande mis à rôtir dans un four à gaz donne difficilement 850 grammes d'aliments cuits malgré l'adjonction de corps gras, la cuisson du rôti au four «Fax» rend 950 grammes d'aliments par kilo de viande crue sans adjonction de beurre ni de graisse:

Les bouilleurs électriques que l'on plonge dans l'eau, et dont le champ d'application est malheureusement restreint, ont un rendement de près de 100 %, c'est-à-dire qu'ils cèdent en chaleur utilisable presque toute la chaleur qu'on leur fournit. Les appareils au gaz, au contraire, ne permettent pas en général d'utiliser plus de 25 à 40 % de la chaleur produite, et les cuisinières chauffées à la houille,

pas plus de 5 à 10%. Son rendement favorable joint à sa commodité permet à la cuisinière électrique de rivaliser avec succès avec la cuisine au gaz ou au charbon. On construit actuellement des cuisinières complètes, comprenant four, rôtissoire avec broche mue électriquement, grillade, etc. (fig. 905 et 906).

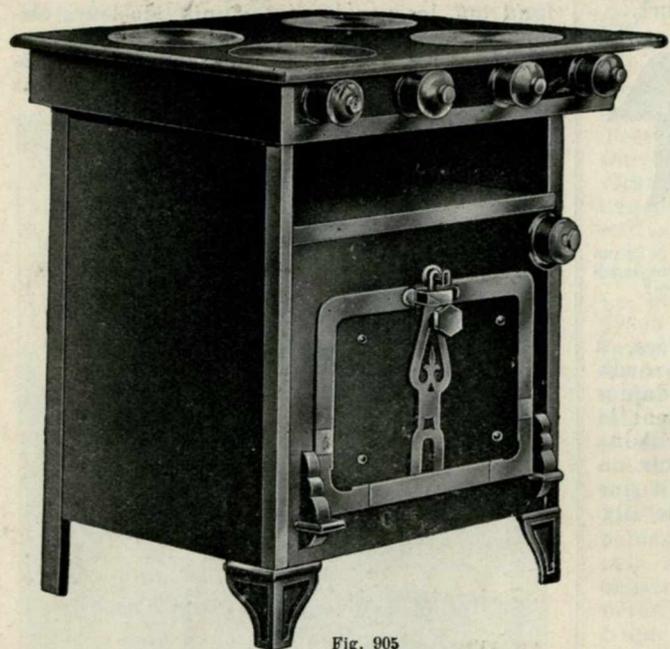


Fig. 905

Cuisinière électrique «Spark» avec 4 plaques de chauffe et four à cuire et à rôtir. Consommation totale : 4820 watts

un très bon rendement, qui peut atteindre 90% lorsqu'ils sont calorifugés. Les chiffres

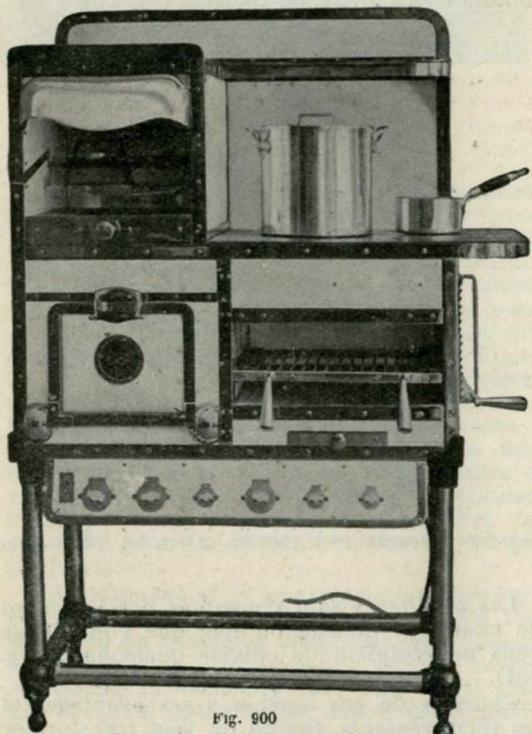


Fig. 900

Cuisinière électrique (Mildé)

suivants fournis par la Sté Le Matériel, feront saisir l'économie réalisée sur les systèmes pratiques connus antérieurement.

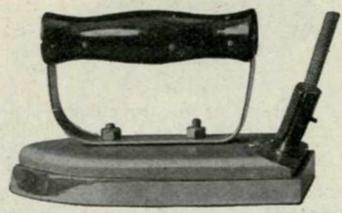


Fig. 907

Fer à repasser (Mildé)

232. APPAREILS DIVERS. — Il existe de nombreux autres appareils qui touchent plus ou moins à l'économie domestique; un des plus

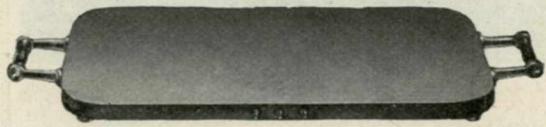


Fig. 908

Chauffe-plat «Spark»

en vogue est le fer à repasser électrique (fig. 907). Il consiste le plus souvent en une monture métallique contenant la résistance sous forme d'un ruban enroulé sur une feuille de



mica, comprise entre deux autres feuilles de mica ou entre deux feuilles d'amiante, le tout serré contre la semelle active du fer.

cours au chauffage électrique pour les cataplasmes, bains de chaleur, douches d'air chaud, etc.

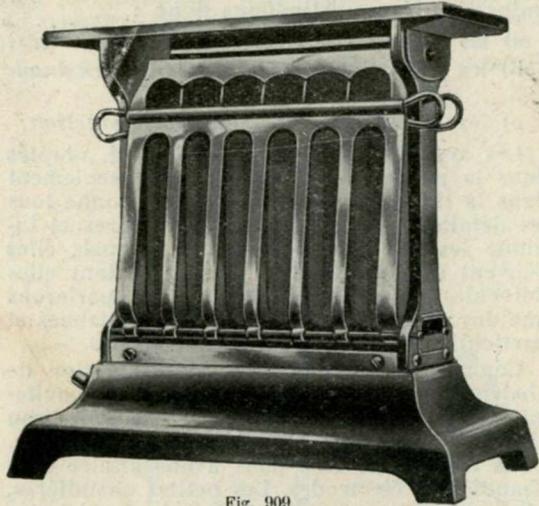


Fig. 909
Grille-pain « Spark »

Citons d'autres appareils (fig. 908 à 914) : les chauffe-plats, grille-pain, fers à friser, chauffe-pieds, chauffe-lits, allume-cigares, etc.

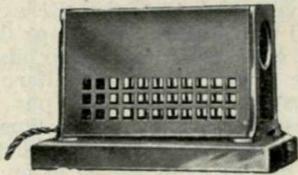


Fig. 910 — Chauffe-fer à friser

On fait des tabourets, poufs, tapis chauffants. On est arrivé à tisser les fils métalliques formant résistance avec des fils textiles ordinaires, pour la confection de ces tapis.

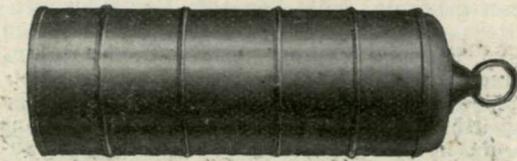


Fig. 911 — Chauffe-lit

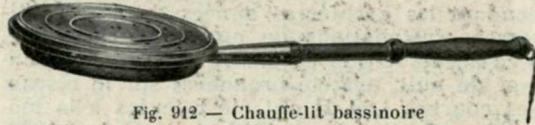


Fig. 912 — Chauffe-lit bassinatoire



Fig. 913 — Allume-cigares électrique

233. CHAUFFAGE INDUSTRIEL. — L'application la plus importante est celle qui se rapporte aux chaudières électriques.

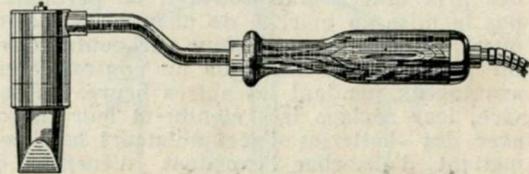


Fig. 914 — Fer à souder électrique

Chaudières électriques. Sous le terme chaudière électrique, on désigne les appareils en général dans lesquels l'énergie électrique est utilisée pour produire de la vapeur. La chau-

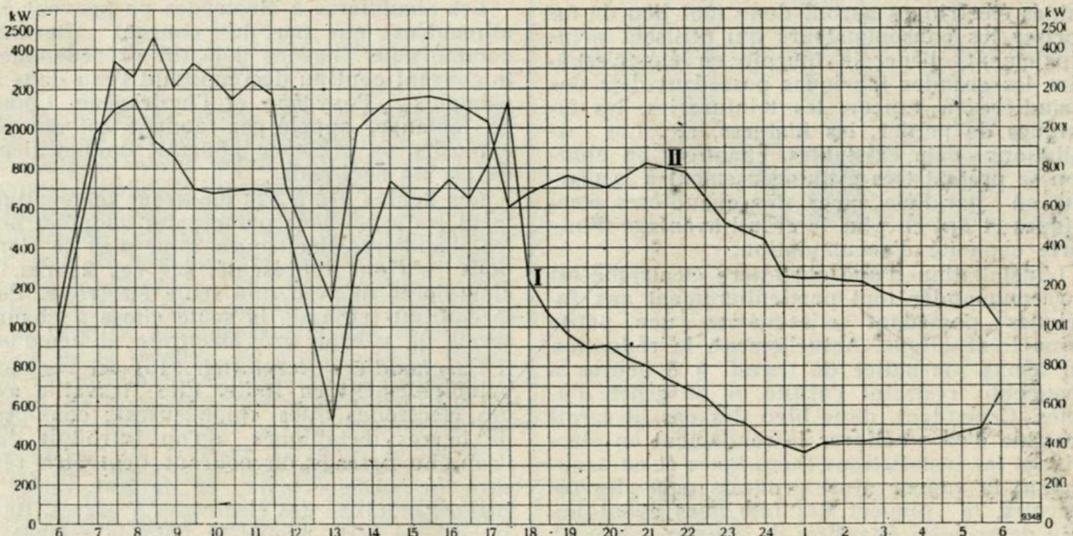


Fig. 915 — Diagramme de charge relevé dans la centrale de Baden (Suisse). I : Courbe relevée le 1er février 1916. II : Courbe relevée le 12 février 1920

On emploie aussi des fers à souder, des plaques chauffantes, etc. On a également re- dière électrique est une création des temps de guerre. Elle doit son extension si rapide à

la pénurie toujours croissante du charbon et des autres combustibles.

Nous remarquerons dès le début, que d'une façon générale, seule l'énergie électrique produite par des usines hydrauliques entre en ligne de compte pour le chauffage de ces chaudières.

Si nous examinons le diagramme de charge (fig. 915) d'une usine électrique, nous voyons que la livraison journalière d'énergie est sujette à des fluctuations énormes. Le diagramme en question représente la consommation d'énergie de l'usine électrique de Baden. Pendant les dernières années de guerre, diverses installations de chauffage électrique, avec accumulation de chaleur utilisant le courant de nuit, ont été branchées sur le réseau. Les courbes I et II ont été relevées à la même époque, l'une en 1916 et l'autre en 1920. Le facteur d'utilisation de cette usine a été sensiblement amélioré en connectant les chaudières électriques au réseau.

Evidemment, la consommation d'énergie pour différentes usines électriques est différente; mais l'allure de la courbe reste la même, dans la plupart des cas. En général, la charge principale de l'usine coïncide avec les heures de travail dans les fabriques et les heures d'éclairage. Pour la force et la lumière, on doit payer pendant les heures de pointe des prix qui, le plus souvent, ne permettent pas la mise en marche de chaudières électriques. Ces dernières peuvent par contre devenir pour l'usine électrique un consommateur avantageux pendant les autres heures de service, leur réglage très étendu et leur liaison avec des batteries d'accumulateurs leur permettant d'absorber l'excédent d'énergie de l'usine et d'améliorer ainsi le facteur de charge. Les usines hydrauliques à basse pression particulièrement ont beaucoup d'excédent d'énergie à disposition, et ceci généralement pendant les mois d'été et d'automne, lorsque l'eau est abondante et que la livraison de lumière électrique atteint son minimum. Ces usines électriques auront donc tout lieu de favoriser les consommateurs qui utilisent principalement l'énergie fournie en été, c'est-à-dire les grandes fabriques possédant déjà des chaudières à vapeur, les teintureries, les fabriques de papier, les filatures, etc. Les installations déjà existantes, chauffées au charbon se prêtent très avantageusement à la marche en parallèle avec des chaudières électriques et ont en plus le grand avantage d'une forte capacité d'accumulation.

L'installation d'une chaudière électrique est à recommander tout particulièrement aux fabriques possédant elles-mêmes une petite usine hydraulique. Actuellement, la réduction du temps journalier de travail à 8 heures a beaucoup restreint l'utilité de ce genre d'usines. Cependant, dans bien des cas, il serait possible d'en améliorer le rendement en électrifiant les installations thermiques et en accumulant la vapeur ainsi produite dans des réservoirs, la plupart des fabriques ayant besoin de grandes quantités de vapeur, soit pour le chauffage, soit pour d'autres usages industriels.

La transformation d'énergie électrique en chaleur peut se faire de différentes manières :

directement, c'est-à-dire par le passage du courant à travers une résistance ou par la production d'un arc lumineux, indirectement par induction. Nous distinguons donc :

- a) les chaudières électriques à *résistances*;
- b) les chaudières électriques à *arc lumineux*;
- c) les chaudières électriques à *induction*;

Les systèmes b et c n'ont pas été adoptés dans la pratique. On les rencontre seulement dans la littérature des brevets qui donne tous les détails concernant ces chaudières et indique les cas spéciaux dans lesquels elles peuvent être utilisées et la façon dont elles doivent être construites. Nous ne parlerons que des chaudières électriques à résistances et particulièrement de celles à électrodes.

Comme l'indique le nom, la production de chaleur repose dans ce système sur l'échauffement d'une résistance qui peut être soit l'eau elle-même, soit un corps immergé dans l'eau. Dans le premier cas, nous avons affaire à la chaudière à électrodes. Les petites chaudières, généralement connectées à des réseaux à basse tension, sont pourvues le plus souvent de résistances fixes formées par des spires d'un fil spécial, isolées dans des tubes de chauffe. Pour permettre le réglage de la puissance, ces résistances sont groupées en faisceaux pouvant être couplés à volonté. Les chaudières de cette construction ont le grand avantage de pouvoir être employées aussi bien pour du courant continu que pour du courant alternatif. Par contre, elles ne conviennent pas pour les grandes puissances et les hautes tensions; car la dépense en matériel pour les résistances devient, dans ce cas, trop élevée et on se trouve dans l'impossibilité de placer à l'intérieur les pièces d'isolement nécessaires. Avec les chaudières à électrodes, on peut utiliser actuellement des courants allant jusqu'à 20.000 volts, et il est fort probable que cette limite de tension pourra par la suite être encore sensiblement élevée.

Les chaudières à électrodes ne peuvent être alimentées que par du courant alternatif; comme nous l'avons déjà dit précédemment, le courant continu décomposant l'eau dans ses éléments : l'oxygène et l'hydrogène. Comme ce mélange, appelé gaz tonnant, est des plus explosifs, sa présence pourrait donner lieu à de graves accidents.

Les figures 916 à 920 montrent schématiquement les exécutions principales adoptées pour les chaudières électriques. Pour plus de clarté, nous n'avons représenté, sur ces figures, les chaudières qu'avec une seule électrode. Pour le courant triphasé, la seule chose à changer serait de prévoir trois électrodes au lieu d'une.

La *chaudière Revel* (fig. 916) est répandue principalement en Italie. Elle travaille avec des électrodes dites «plongeuses», composées de barres métalliques qu'on introduit dans l'eau. Le passage du courant peut être réglé sur une vaste échelle en faisant varier la surface mouillée des électrodes à barres. Revel se sert de cette propriété pour le réglage de la puissance, le niveau de l'eau dans la chaudière étant élevé ou abaissé par un dispositif automatique. Il va de soi qu'à une puissance donnée, la surface mouillée et la distance en-

tre électrodes ne peuvent pas être les mêmes pour différentes tensions. Le courant traversant les chaudières doit vaincre la résistance de passage de l'électrode métallique à l'eau R_1 et celle de l'eau R_2 . Plus la tension de service est élevée, plus ces résistances doivent

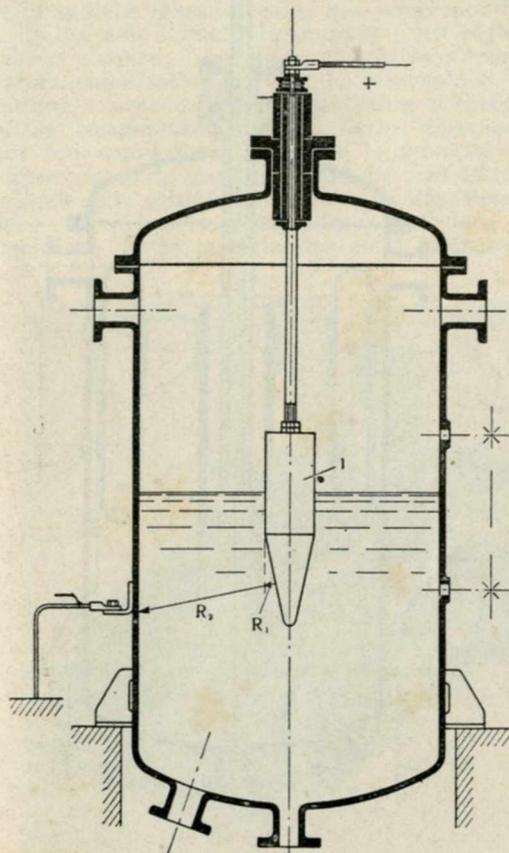


Fig. 916

Chaudière électrique Revel. 1 électrode plongeuse, R_1 , R_2 résistances

être fortes. Etant donné que la résistance de l'eau R_2 ne permet pas d'obtenir de grandes variations à moins qu'on n'ait recours à des moyens artificiels (interposition de pièces isolantes, emploi d'eau distillée), la surface mouillée de l'électrode reste le moyen principal pour le réglage des résistances, c'est-à-dire de la puissance. Pour une puissance constante fixe, la surface mouillée de l'électrode 1 est à réduire proportionnellement avec l'élévation de la tension de service. Cette réduction est cependant limitée par la capacité de travail de la surface des électrodes. Une fatigue par trop élevée se fait remarquer par l'apparition de grandes flammes, ce qui provoque de fortes variations de courant et peut amener la destruction des électrodes. Cette particularité limite l'emploi de la chaudière Revel aux courants à basse tension. La plupart des installations de cette construction travaillent avec des tensions de 500 à 1.000 volts. Les dimensions des chaudières Revel étant restreintes, la contenance en eau est ex-

cessivement minime, l'appareil est par suite très vite prêt à fonctionner. La petite surface d'eau a une influence défavorable en ce sens qu'elle favorise l'entraînement de gouttelettes d'eau dans les appareils d'utilisation, ce qui nécessite l'emploi de séparateurs d'eau.

Les chaudières, système Brockdorf et Witzemann (fig. 917), comparées aux chaudières Revel, sont passablement plus volumineuses. Un grand volume d'eau assure un fonctionnement normal, même lorsque la consommation de vapeur est irrégulière ou lorsqu'elle se produit par à-coups. Les deux électrodes 1 et 2 sont entourées d'un tube isolant 3. Le courant passe de 1 à 2 à travers la résistance hydraulique R qui est réglable par le déplacement des deux électrodes. La production totale de vapeur est localisée sur la distance se trouvant entre les deux électrodes. Tant qu'il s'agit de faibles puissances et de tensions relativement basses, l'absorption d'énergie

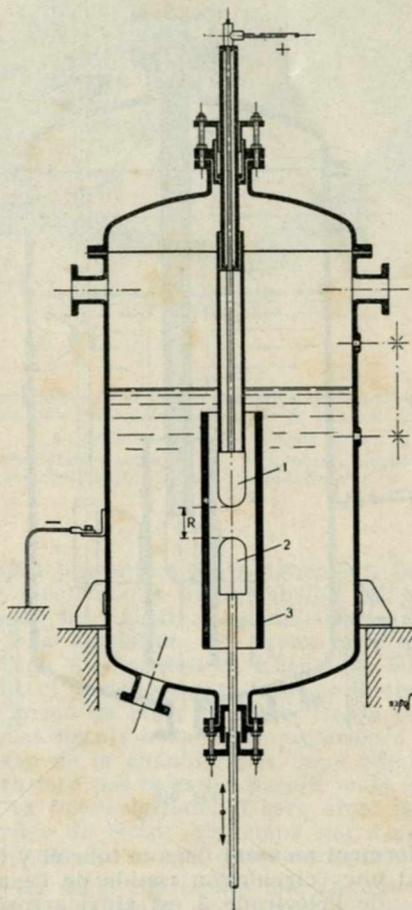


Fig. 917

Chaudière électrique Brockdorf et Witzemann
1, 2 électrodes, 3 tube isolant

varie à peu près en raison inverse de cette distance. Lorsque la puissance augmente, le dégagement de vapeur croissant autour des électrodes altère la résistance de passage R à un tel point que le fait de rapprocher les électrodes 2 et 3 n'a pas pour conséquence une augmentation de l'absorption d'énergie.

Chaudières électriques

La construction BBC (fig. 918, 919), de la Société Anonyme Brown, Boveri, est caractérisée par le fait que le réglage de la puissance se fait par le déplacement d'un tube isolant 3 et que la contre-électrode dans le tube est supprimée. Il s'agit d'un type qui convient particulièrement aux courants alternatifs de très hautes tensions et qui trouve beaucoup de partisans en pratique. Le courant est amené à l'électrode 2 par une barre à travers un isolateur d'entrée 1 en porcelaine. Le prolongement de cette barre est entouré par des tubes en quartz. De là, le courant doit se frayer un passage à travers l'eau pour arriver à la paroi de la chaudière qui fait fonction de deuxième électrode. Les bulles de vapeur

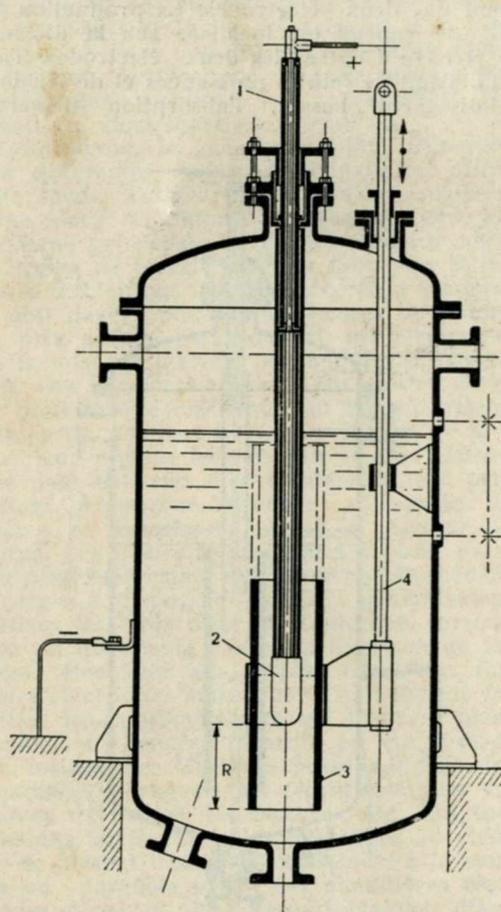


Fig. 918

qui se forment montent dans le tube et y occasionnent une circulation rapide de l'eau. La surface de l'électrode 2 est ainsi arrosée et refroidie automatiquement et peut par conséquent soutenir une très forte charge, sans qu'on ait à craindre la formation d'étincelles et par suite une détérioration. Contrairement à la chaudière de la figure 916, le chemin dans l'eau est passablement long et le danger de claquage d'une électrode à l'autre est pour ainsi dire écarté.

Le réglage de la puissance s'opère en élevant ou en abaissant le tube de vaporisation 3. L'absorption maximum d'énergie corres-

pond à la position la plus élevée du tube. Dans cette position, la résistance $R = 0$; ainsi la résistance de l'eau descend à sa va-

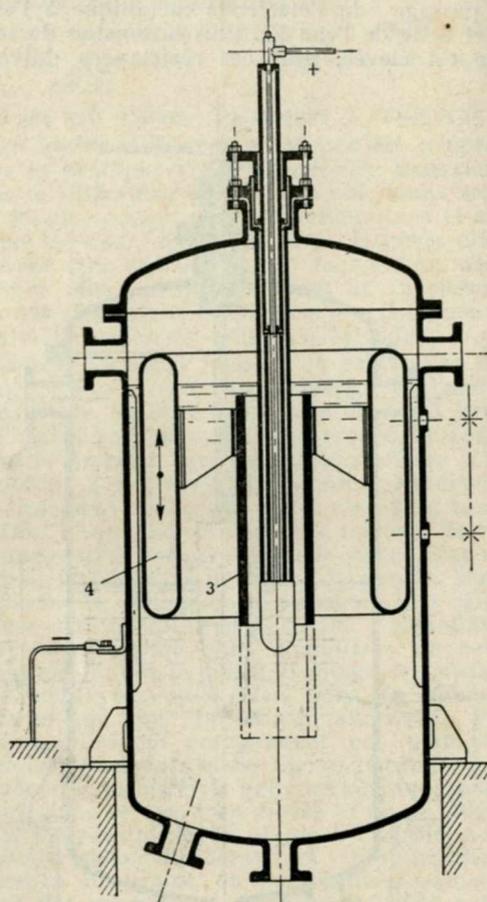


Fig. 919

Chaudière électrique BBC.

3 tube isolant de vaporisation, 4 flotteur supportant le tube 3

leur minimum. La position du tube 3 la plus haute admissible dépend de la tension de service de la chaudière. Le déplacement du tube s'opère par une tringle 4. Il peut cependant aussi se faire, comme le montre la fig. 919, en suspendant le tube de vaporisation à un flotteur 4. Cette construction est adoptée lorsque le réglage automatique est demandé. Celui-ci est à conseiller pour les petites

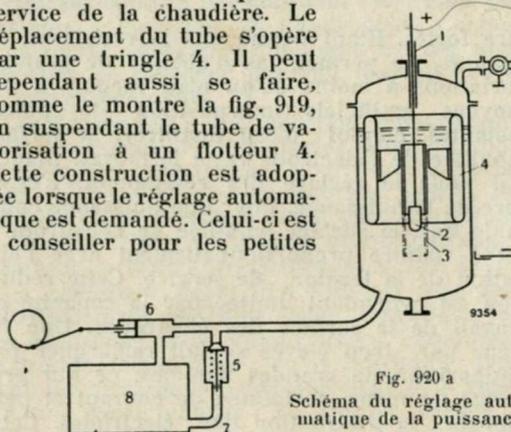


Fig. 920 a

Schéma du réglage automatique de la puissance

installations travaillant de nuit. Le schéma de la figure 920a montre de quelle manière ce réglage s'opère; le système plongeur 4 étant dans sa position la plus élevée, l'absorption

d'énergie est un maximum; la soupape 5 est réglée pour une pression déterminée dans la chaudière. La pompe d'alimentation 6 travaille à débit constant et ceci de telle sorte que le volume d'eau débité est passablement plus élevé que le volume d'eau à vaporiser dans la chaudière. Lorsque la pression dans la chaudière dépasse celle qui correspond à la limite pour laquelle la soupape 5 est réglée, celle-ci s'ouvre; l'eau de la chaudière s'écoule par la canalisation 7 dans le réservoir 8, le flotteur 4 descend et l'absorption d'énergie baisse proportionnellement. Cette opération suit son cours jusqu'à ce que la quantité de vapeur produite dans la chaudière soit la même que celle utilisée. Dans tous les cas, l'équilibre se produira automatiquement dans la chaudière et se maintiendra aussi longtemps

et qui donne les garanties d'isolement nécessaires. Le quartz est un isolant de première qualité. Il a d'autre part un coefficient de dilatation si faible que des échauffements rapides et variables ou locaux (courts-circuits) n'exercent aucun effet nocif sur lui.

Avant de clore la présente description, nous tenons encore à signaler une particularité des chaudières à électrodes. La question d'éviter la formation de tartre dans les chaudières à vapeur est des plus importantes. Le tartre gêne considérablement le bon fonctionnement

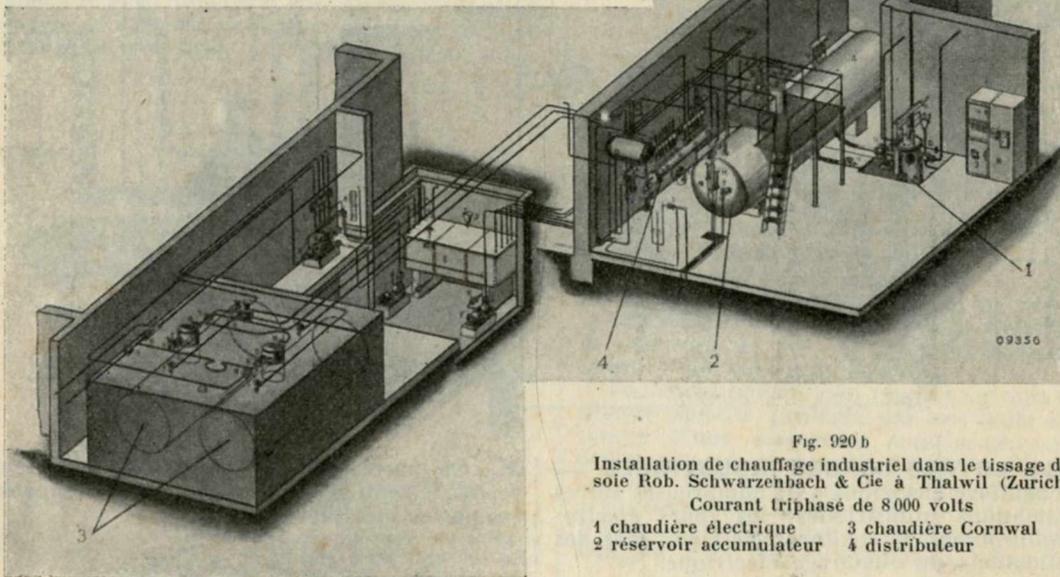


Fig. 920 b
Installation de chauffage industriel dans le tissage de soie Rob. Schwarzenbach & Cie à Thalwil (Zurich)
Courant triphasé de 8 000 volts
1 chaudière électrique 3 chaudière Cornwal
2 réservoir accumulateur 4 distributeur

que le débit de vapeur ne sera pas plus élevé que la puissance maximum; c'est-à-dire que le flotteur 4 restera dans sa position la plus élevée. En général, on peut supprimer le réglage de la puissance lorsque la chaudière travaille sur un réservoir accumulateur de vapeur.

Les matières isolantes utilisées pour la confection des tubes de vaporisation et pour les douilles isolantes d'entrée, sont l'argile, la porcelaine et le quartz. Les conditions auxquelles ces matières doivent satisfaire, ne sont pas faciles à remplir. Pour de basses tensions et pour des pressions dans la chaudière peu élevées, les tubes en argile suffisent; par contre, pour des tensions élevées, ce matériel n'est plus approprié. Les isolateurs d'entrée de la chaudière sont généralement exécutés en porcelaine; cette matière résiste très bien à la fatigue à laquelle ces isolateurs sont soumis, ainsi qu'aux variations de température qui se font sentir particulièrement lors du chauffage de la chaudière. Pour l'intérieur de la chaudière, et surtout pour les pièces se trouvant sous l'eau, le quartz est la seule matière qui présente à la longue une résistance suffisante

s'il n'est pas enlevé périodiquement. La chaudière électrique à haute tension est sous ce rapport un «idéal». Les substances donnant lieu à la formation de tartre sont amenées par l'eau d'alimentation. Elles sont éliminées ensuite et se déposent au fond de la chaudière sous forme de boue très fine. Or, la température des parois n'étant pas supérieure à celle de l'eau de la chaudière, la boue éliminée ne s'incrusterait pas dans les parois, mais elle garderait sa forme initiale. Il sera ainsi facile de l'évacuer de temps en temps par l'ouverture de vidange, au moyen d'eau sous pression.

La fig. 920b représente une chaudière électrique à électrodes, avec accumulateur de vapeur. 1 est la chaudière à électrodes, 2 le réservoir d'accumulation d'une contenance de 30 m³ et 3, l'ancienne chaudière qui peut également être transformée en accumulateur de vapeur. Le distributeur 4 fait communiquer les chaudières 1, 2 et 3 entre elles et avec les appareils d'utilisation. Tandis qu'en été la chaudière électrique est seule mise en service avec son accumulateur 2, en hiver, lorsque la fabrique est chauffée, les deux chaudières fonctionnent en parallèle. L'installation travaille



Le courant triphasé ayant une tension composée de 8.000 volts. La pression maximum dans la chaudière est de 14 kg/cm². Cette charge est utilisée jusqu'à la pression minimum de 1,5 kg/cm². Le schéma des connexions (fig. 921) est des plus simples.

renflard est chassé par le ventilateur dans une buse maîtresse d'où se détachent à chaque étage des canaux de dispersion. L'air refroidi est repris par les buses d'évacuation que l'on peut faire communiquer avec l'atmosphère, lorsqu'il s'agit de renouveler l'air en ouvrant le registre

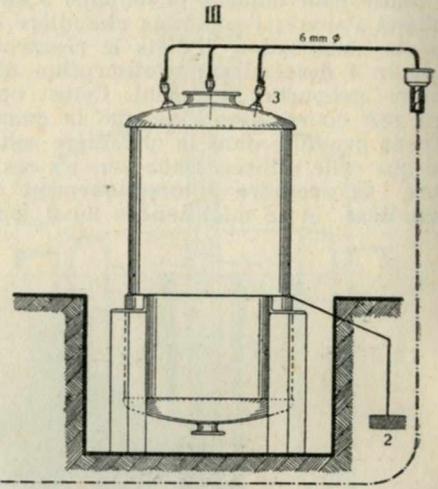
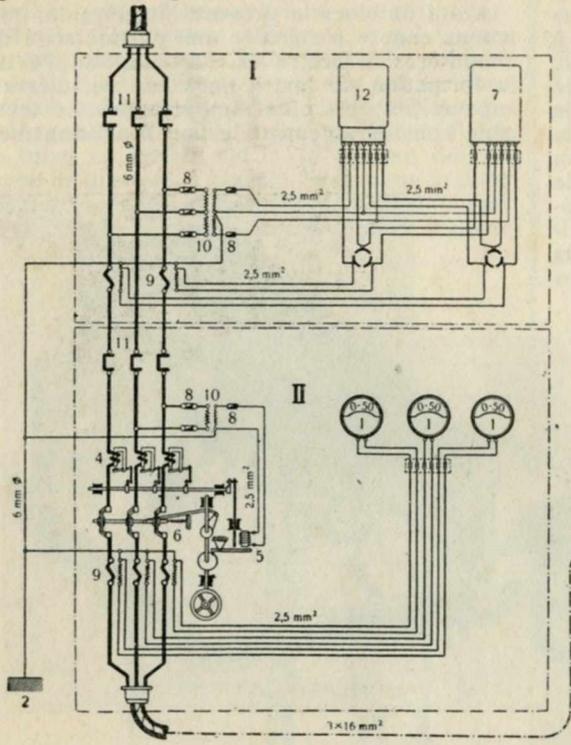


Fig. 921
Schéma des connexions d'une installation de chauffage électrique
I, II tableau de distr. III chaudière électr.
4 ampèremètres 7 wattmètre
2 mises à la terre 8 fusibles
3 isolateurs d'entrée 9 transf. de courant
4 relais à maximum 10 transf. de tension
5 relais à tens. nulle 11 sectionneurs
6 disjoncteur princip. 12 compteur

234. AUTRES USAGES INDUSTRIELS. — Le chauffage électrique a de nombreuses autres applications industrielles: les fours électrométallurgiques, la soudure électrique sont des applications du chauffage électrique.

M. En marche normale, l'air exécute un cycle fermé, le renflard ne sert alors qu'à compenser les pertes inévitables.

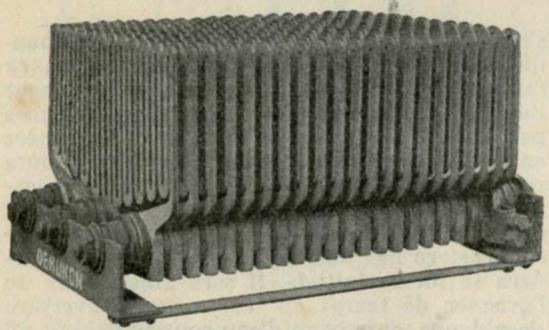


Fig. 922

L'air chaud occupe une place importante dans les installations industrielles: séchoirs, filatures, séchage des moules de fonte, dessiccation des fruits et légumes, etc.

La fig. 922 représente un élément de chauffage d'air des Ateliers Oerlikon; il est constitué par des résistances en fonte dans lesquelles circule le courant et que vient lécher l'air. La fig. 923 représente la disposition adoptée pour le chauffage électrique et la ventilation d'une filature. L'air aspiré par le

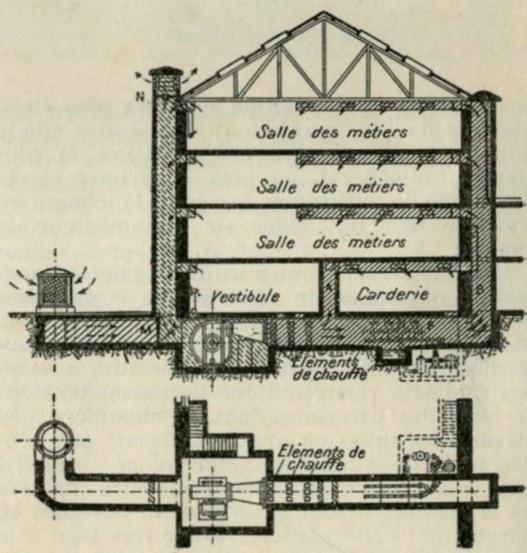


Fig. 923

Chauffage électrique d'une filature. Puissance environ 200 kw

Les applications du chauffage électrique s'étendent sans cesse. Citons comme exemple intéressant le dispositif, employé par la Société

Oerlikon pour le chauffage de bandages, de frettes, de couronnes dentées, etc.

La mise en place des bandages sur les roues se fait généralement à chaud ; le diamètre à froid du bandage étant légèrement inférieur à celui de la roue, et ce d'une valeur dépendant de la tension de serrage que l'on désire réaliser, on procède en chauffant le bandage à une température suffisante pour permettre, par sa dilatation, une mise en place facile.

En vue d'obtenir une bonne exécution de ce travail, diverses précautions sont à prendre et il importe particulièrement de réaliser un chauffage uniforme de la pièce et d'éviter des températures exagérées pouvant altérer les qualités initiales de la matière.

Ces considérations ont amené les Ateliers de Construction Oerlikon, dès 1912, à étudier et à construire un dispositif qui permette de chauffer électriquement des pièces fermées en forme de bagues, en fer, en acier, ou en d'autres métaux à faible point de fusion.

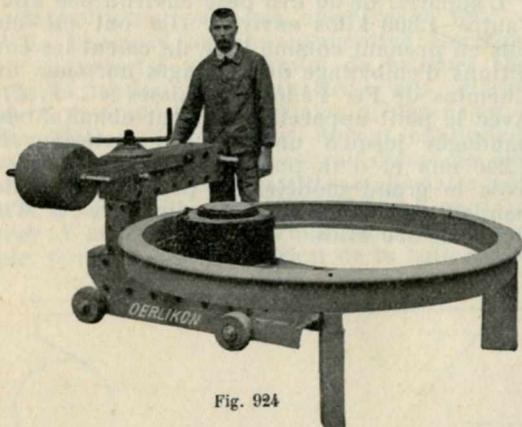


Fig. 924

Appareil avec bandage de 1700 mm. d'alésage placé sur le noyau avec enroulement, la culasse étant déplacée pour permettre l'enlèvement du bandage (Oerlikon)

Le principe employé est celui bien connu du transformateur à induction, qui est du reste aussi le principe des fours à induction employés en métallurgie pour la fonte des différents métaux ou minerais. La bague à chauffer forme l'enroulement secondaire en court-circuit d'un transformateur, et le courant qui s'y produit par induction et dont l'intensité est proportionnelle aux ampères-tours de l'enroulement primaire, engendre la chaleur nécessaire à produire la dilatation de la bague.

Le chauffage se produit graduellement et régulièrement ; le temps nécessaire à l'obtention des températures désirées est facilement réglable par variation de l'intensité du courant induit, celle-ci s'obtenant au moyen d'un jeu de bornes reliées à des connexions branchées en divers points de l'enroulement primaire. Le procédé est très économique, particulièrement lorsqu'on bénéficie de tarifs réduits de prix du courant, et le travail réalisé est infiniment plus précis, plus propre et également meilleur marché que par le gaz.

La réalisation pratique du dispositif a amené à la construction d'un appareil robuste, d'une sûreté absolue de fonctionnement, facilement transportable en considération de son emploi dans les ateliers de construction de chemins

de fer, les ateliers de construction et réparation de matériel roulant, etc., où son usage s'impose d'une façon absolue.

Les détails de sa construction ressortent des figures 924 à 927.

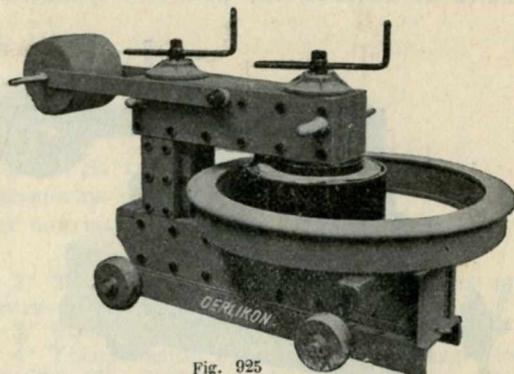


Fig. 925

Appareil avec bandage de 900 mm. d'alésage, prêt à fonctionner

Le transformateur à deux noyaux est fixé sur un fer à U pourvu de galets pour permettre le déplacement facile de l'appareil. Le transformateur porte sur un des noyaux l'enroulement primaire dont le nombre de spires peut être modifié suivant les dimensions de la pièce à chauffer, l'augmentation de température demandée ou suivant le temps fixé pour le chauffage. Ces considérations déterminent la répartition des bornes supplémentaires prévues sur cet enroulement.

Toutes les bornes sont réunies sur une petite plaque isolante, protégée par une boîte en tôle munie d'une fermeture coulissante en tôle également qui les garantit de tout contact accidentel. Une borne spéciale placée sur cette fermeture sert à la mise à la terre de tout l'appareil et protège ainsi le personnel contre les dangers d'un défaut d'isolation accidentel.

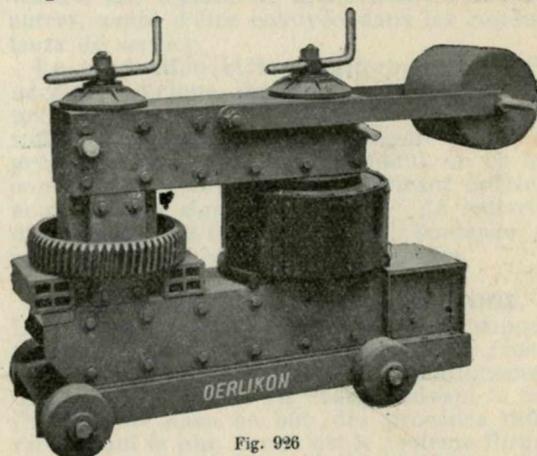


Fig. 926

Appareil avec couronne dentée de 360 mm. d'alésage placée sur le noyau d'enroulement, prêt à fonctionner

Un cylindre en matière isolante, garni sur la partie faisant face au deuxième noyau de trois nervures en fer profilé, protège l'enroulement contre les détériorations possibles pendant la mise en place du bandage ou son enlèvement ainsi que contre le rayonnement du bandage pendant l'opération.



Autres usages Industriels du chauffage électrique

Le deuxième noyau ne porte pas d'enroulement et peut être protégé par un cylindre ana-torique. La culasse supérieure du transformateur est fixée aux noyaux par deux vis; après enlèvement de l'une et dévissage partiel de l'autre de celles-ci, elle peut être tournée de

son axe dans l'axe transversal de la culasse et qui peut être rabattu de l'un ou de l'autre côté. S'il s'agit par exemple de chauffer une pièce comme celle de la figure 927, dont le diamètre intérieur est plus petit que le diamètre extérieur de la bobine, on rabat le contrepoids du côté opposé, on éloigne la culasse du noyau sans enroulement et l'on place la pièce à chauffer autour de ce noyau, sans que l'effet du transformateur soit sensiblement affaibli.

Il est toutefois indispensable lors de la mise en place du bandage d'intercaler entre le bandage et le corps du transformateur une brique en terre cuite ou tout autre support isolant afin d'éviter la formation d'un court-circuit entre les tôles du transformateur et l'échauffement anormal qui en résulterait.

Le dispositif est construit pour emploi de courant monophasé, d'une tension de service jusqu'à 500 volts et fréquence de 40 à 50 périodes, en deux grandeurs de puissances respectives de 30 et 60 kVA.

L'appareil de 30 kva pèse environ 680 kilos, l'autre 1.300 kilos environ. Ils ont été établis en prenant comme base de calcul les conditions d'embattage de bandages normaux des Chemins de Fer Fédéraux Suisses «C. F. F.». Avec le petit appareil on peut chauffer des bandages jusqu'à un diamètre extérieur de 1.200 mm et d'un poids d'environ 300 kilos; avec le grand modèle on peut chauffer des bandages de 2.000 mm de diamètre et d'un poids de 550 kilos.

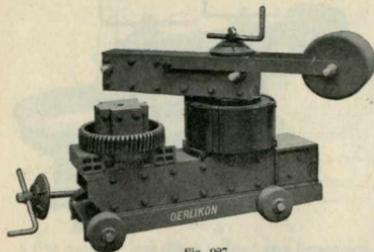


Fig. 927

Appareil avec couronne dentée de 360 mm. d'alésage placée sur le noyau sans enroulement, la culasse étant déplacée pour permettre l'enlèvement de la couronne

façon à permettre l'introduction de la pièce à chauffer autour du noyau. Dans le but de faciliter ce mouvement et de ménager les surfaces de contact des noyaux, le poids de la culasse est équilibré par un contrepoids porté par deux leviers en fer dont les extrémités



ENCYCLOPÉDIE PRATIQUE
DE MÉCANIQUE
ET
ÉLECTRICITÉ

TOME III