

# SCIENCE ET VIE



OCTOBRE 1946

N° 349

30 FRANCS



*W. J. Scott*

# LE CHAUFFAGE DOMESTIQUE PAR L'ÉLECTRICITÉ

par J. MARCHAND

Ingénieur I. E. G.

*Comme l'éclairage électrique, le chauffage par l'électricité, allumé ou éteint par la simple manœuvre d'un interrupteur, s'accommodant, en outre, d'un réglage automatique affranchissant l'usager de toute manœuvre et de toute prévision météorologique, devrait constituer, sans aucun doute, un des éléments essentiels du confort moderne. La nécessité d'importer de grandes quantités de charbon et les énormes capitaux nécessités pour l'aménagement de nos sources d'énergie hydraulique pèsent malheureusement d'un grand poids sur le prix de revient de la calorie électrique, qui demeure encore plus élevé que celui de la calorie obtenue par l'utilisation directe de combustibles solides ou liquides. Il est néanmoins possible, par une utilisation judicieuse des diverses modalités du chauffage électrique combinées avec les différentes tarifications de l'énergie, d'aboutir à une dépense acceptable. Le développement de la production d'énergie et sa distribution rationnelle, grâce à l'interconnexion, constituent, d'ailleurs, une condition essentielle de la diffusion de ce mode de chauffage.*

## Électricité et charbon

**L**e problème du charbon, qui domine actuellement la renaissance économique française, a toujours été capital pour notre pays. Déjà avant 1939, notre consommation annuelle atteignait entre 70 et 90 millions de tonnes, alors que notre production n'était que de 45 à 60 millions de tonnes ; les importations de l'étranger constituaient, au cours du franc de 1938, une charge de 6 à 7 milliards pour notre balance commerciale.

Il ne peut être évidemment question de songer à diminuer la quantité d'énergie disponible. Ce serait entraver le développement industriel, donc la production, seule créatrice de véritable richesse. Nous pouvons heureusement agir d'autre façon, par la mise en valeur de nos ressources en énergie hydraulique et par l'amélioration du rendement énergétique des industries.

On connaît, dans ce domaine, les bienfaits de l'électrification des chemins de fer (1), et l'on peut affirmer que l'électrification générale est à la base de l'accroissement du rendement énergétique.

L'interconnexion, qui autorise la distribution de l'énergie hydraulique dans tout le pays, doit jouer à cet égard un rôle essentiel. Si l'on admet, en effet, que la dépense de charbon dans nos centrales thermiques est d'environ 800 g par kWh, et que l'énergie distribuée aux usagers provient, par parts égales, de la houille noire et de la houille blanche, ce n'est plus que 400 g de charbon qui seront brûlés par kWh consommé. M. Parodi, l'un des pionniers de l'électrification en France, estime que, dans dix ans, cette

dépense pourra être inférieure à 200 g par kWh pour une production globale de 30 à 40 milliards de kWh par an, dont les deux tiers d'origine hydraulique. Que faut-il pour cela ? Aménager d'abord nos ressources en houille blanche, et surtout placer l'intérêt national au-dessus des intérêts particuliers des thermiciens et des hydrauliciens. Il ne faut pas oublier que, dans les centrales hydrauliques, nous dépensons nos rentes d'énergie, constamment renouvelées par la nature, tandis que, dans les centrales thermiques, c'est notre capital de matière minérale que nous consommons.

L'abondance d'énergie électrique et la réduction de la dépense moyenne de charbon par kWh permettront alors d'étendre les applications de l'électricité à de nouveaux domaines.

Le chauffage ne rentre-t-il pas précisément dans cette catégorie ? Neuf millions de tonnes de charbon, a calculé M. Parodi, sont brûlées chaque année, pour l'alimentation des chauffages centraux en France ; certes, cela ne correspond qu'au dixième environ de notre consommation totale, mais, ce qui est grave, c'est que ces 9 millions de tonnes proviennent en grande partie de l'importation, la France ne produisant pas les charbons maigres anthraciteux réclamés par ces appareils de chauffage.

## Le chauffage électrique peut-il être économique ?

Voilà la question cruciale pour les usagers. Bien qu'il soit fort difficile de conclure avec précision, la réponse étant essentiellement fonction des tarifs, variables suivant les régions, il est cependant possible d'établir, en quelque sorte, le bilan énergétique des divers modes de chauffage.

Le calcul n'est pas tellement compliqué, puisque tout le chauffage électrique est fondé sur un seul phénomène physique, régi par la

(1) Voir « L'électrification des chemins de fer français » (Science et Vie, n° 347, août 1946, p. 75).

(2) Des restrictions de consommation d'énergie électrique ont dû, cependant, être imposées en 1941 et 1944.

loi de Joule, à savoir l'échauffement d'un conducteur par le passage d'un courant, 1 kWh produisant toujours 864 calories. Or, si nous considérons un charbon dégageant 5 000 calories par kg et que nous comptons sur une dépense de 800 g par kWh dans une centrale (1), nous voyons que les 4 000 calories effectivement utilisées à la production électrique n'en donnent plus que 864 à la sortie des alternateurs. D'autre part, la transformation, le transport et la distribution n'ayant qu'un rendement de 80 %, on voit qu'il faut brûler 1 kg de charbon par kWh réellement disponible chez l'abonné. De sorte que le chauffage électrique paraît coûter plus de cinq fois plus que le chauffage au charbon.

Toutefois, si l'on considère que :

1° Le charbon employé pour un chauffage central domestique coûte parfois deux fois et même trois fois plus cher que celui utilisé dans les grandes centrales ;

2° Le rendement des appareils de chauffage électrique est de 100 % ;

3° Le chauffage électrique se prête admirablement, comme nous le verrons, à la régulation automatique, d'où une économie de l'ordre de 25 %, on arrive à un écart de dépense beaucoup moins important.

### Les avantages du chauffage électrique

Parmi les facteurs militant en faveur du chauffage électrique, citons d'abord la suppression de toute manutention de combustible.

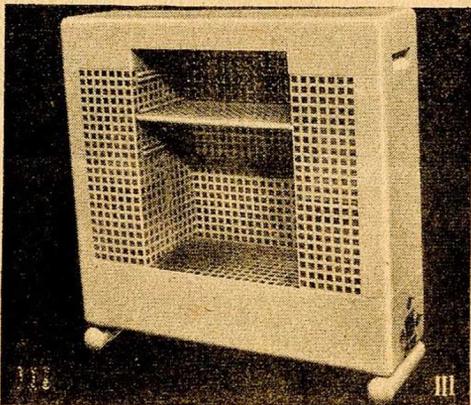
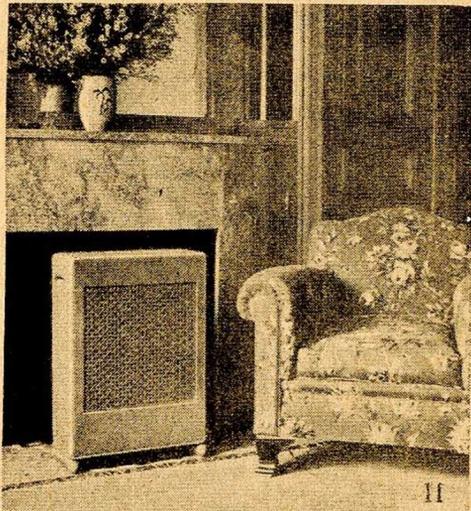
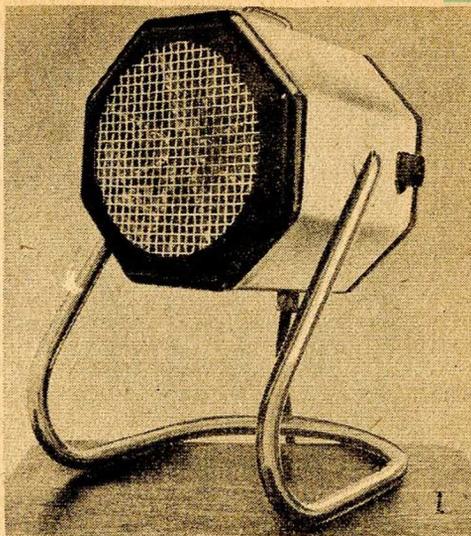
Mais voici des avantages certains, mais non chiffrables. La manœuvre de quelques interrupteurs, que l'on peut d'ailleurs rendre automatique, est le seul travail exigé par le chauffage électrique qui assure toujours une rigoureuse correspondance entre la chaleur fournie et l'énergie consommée ; propreté et hygiène (aucun déchet de combustion, aucun dégagement de gaz) sont évidemment son apanage. Tout cela est bien connu. Mais il faut tenir compte également, dans le cas d'un immeuble électrifié, de la possibilité de laisser chaque locataire maître de l'utilisation de ses appareils et, par suite, de ne lui faire payer, sans contestation possible, que sa consommation exacte d'énergie.

N'est-il pas admissible que ces avantages se traduisent par un prix de revient plus élevé ? Qui voudrait, aujourd'hui, de l'éclairage au pétrole, avec ses multiples servitudes, bien que ce mode d'éclairage soit plus économique que l'éclairage électrique ? C'est pourquoi le chauffage électrique connaît déjà un développement certain. Avant d'examiner ses solutions les plus écono-

(1) Avant la guerre, les centrales thermiques françaises produisaient 8 milliards de kWh par an en brûlant 6,3 millions de tonnes de charbon.

FIG. 1. — QUELQUES TYPES DE RADIATEURS "DIRECTS"

I, Radiateur de 3 à 6 kW à soufflage d'air chaud par moteur pour la mise rapide en température d'une pièce; II, radiateur obscur de 3 à 6 kW muni de déflecteurs intérieurs pour assurer l'échappement de l'air chaud par les deux grandes faces; III, radiateur obscur de la même puissance comportant des logements permettant de maintenir au chaud tasses, assiettes, etc...; un autre modèle, analogue au précédent, comporte en outre un feu vif de 500 W sur le dessus, avec interrupteur indépendant, permettant de faire bouillir de l'eau, voire de préparer un repas (Diamond)



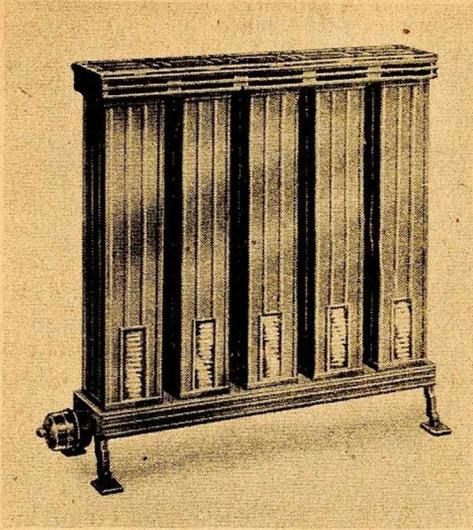


FIG. 2. — RADIATEUR ÉLECTRIQUE « DIRECT » NORDIA FORMÉ PAR LA JUXTAPOSITION DE PLUSIEURS ÉLÉMENTS

La facilité d'accroître ou de diminuer le nombre des éléments assure une grande souplesse de fonctionnement pour le réglage de la température.

miques, rappelons brièvement comment s'effectue la transmission de la chaleur.

### Comment nous nous chauffons

Tenons à la main une barre de fer dont nous plongeons l'autre extrémité dans une flamme. Nous ressentons bientôt une vive impression de chaleur. La chaleur s'est transmise par *conductibilité* du fer.

Promenons-nous sur un champ de neige, par temps clair, au soleil. Nous éprouvons également une sensation de chaleur, bien qu'un thermomètre placé au voisinage, mais à l'ombre, indique que l'air est à basse température. C'est le *rayonnement* du soleil qui nous chauffe.

Un léger ruban de papier, placé au-dessus d'une source de chaleur obscure, s'agite et tend à s'élever, décelant ainsi un courant d'air chaud ascendant qui capte des calories en léchant les parois de la source de chaleur ; c'est le chauffage par *convection*.

Or la sensation de confort est la résultante d'un équilibre assez complexe entre le corps humain, l'ambiance et les parois du local où il se trouve. Notre corps perd des calories surtout par rayonnement, mais aussi par convection, par conductibilité et par évaporation, celle-ci étant négligeable en hiver. Dans le chauffage par convection, le plus répandu, on se sert de l'air comme véhicule de chaleur ; la circulation de ce fluide limite les pertes par convection du corps à une valeur raisonnable, élève et maintient indirectement la température de la surface interne des parois, donc diminue les pertes par rayonnement. Ce procédé courant est cependant peu logique et ne peut permettre, comme nous le verrons, de régulariser la sensation de confort d'une manière aussi parfaite que le chauffage par rayonnement.

## Les diverses modalités du chauffage électrique. Les appareils directs

Pour se chauffer par l'électricité, l'idée qui se présente d'abord à l'esprit est l'utilisation directe du phénomène de Joule. Aussi, les premiers radiateurs électriques étaient-ils constitués par un élément résistant porté à haute température par le passage du courant. Les radiateurs lumineux, du type classique parabolique à faible puissance, doivent être réservés à des usages particuliers. Ils sont, par exemple, précieux pour réchauffer les jambes et les pieds d'une personne assise. D'excellents résultats peuvent toutefois être obtenus, à la condition de prévoir une puissance suffisante, et on atteint aujourd'hui 2,5 kW et même davantage.

Ce sont par excellence les appareils directs. Toutefois, sous ce vocable, il faut englober tous les appareils où la chaleur produite par le passage

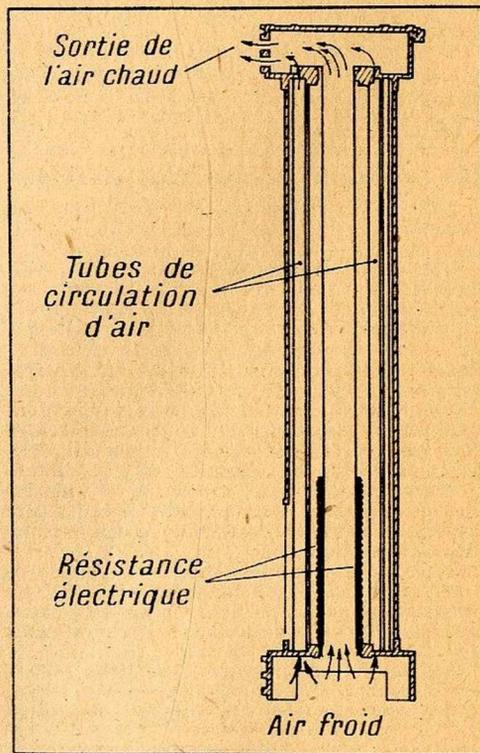


FIG. 3. — COUPE D'UN ÉLÉMENT DE RADIATEUR « DIRECT » NORDIA

Chaque élément est constitué par un corps en fonte à l'intérieur duquel se trouve la résistance chauffante transmettant les calories aux faces de l'appareil, ce qui accroît la surface d'échange. Des tubes verticaux reliant la tête et le pied du radiateur à travers le foyer électrique assurent la circulation de l'air chaud qui se dégage par des ouvertures situées sur les côtés de la partie supérieure, ce qui évite sa montée directe au plafond. La vitesse de circulation de cet air se règle d'ailleurs d'elle-même suivant la température de la pièce où l'appareil est placé. En outre, le couvercle du radiateur soulevé permet de mettre un peu d'eau dans la cuvette étanche ainsi découverte en vue d'humidifier l'atmosphère.

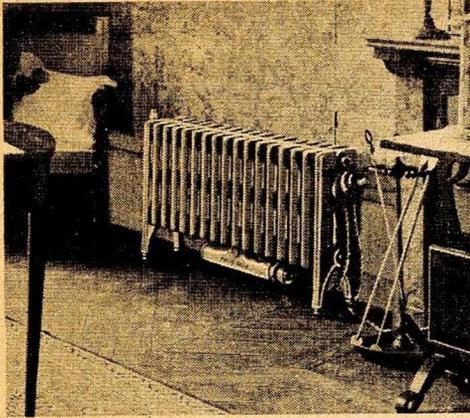


FIG. 4. — RADIATEUR DIRECT A VAPEUR BASSE TENSION OU A EAU CHAUDE

Le radiateur en fonte, identique à ceux ordinairement utilisés pour le chauffage central, comporte à la base une petite chaudière contenant environ 2 litres d'eau et un corps de chauffe électrique. Cette eau est portée à l'ébullition, mais la surface des tubes du radiateur est calculée pour que la vapeur produite se condense intégralement en cédant ses calories, de sorte que la pression reste très faible et que la température de l'eau dans la chaudière ne peut, en aucun cas, dépasser 100° (aucune soupape de sûreté n'est nécessaire). Si le radiateur fait partie d'une installation de chauffage central à eau chaude, il suffit de fermer le robinet d'alimentation du radiateur qui reste alors plein d'eau, en laissant ouvert le tuyau de retour relié au vase d'expansion de l'installation (Electrovapeur).

du courant est immédiatement dégagée, ce dégagement cessant dès la rupture du circuit.

Tels sont les radiateurs directs obscurs, dont la résistance des éléments chauffants est calculée pour ne pas dépasser 400° C. Ils sont complétés par une enveloppe assurant, d'une part, la protection mécanique, d'autre part, la diffusion dans l'atmosphère, par convection, des calories dégagées. Ces radiateurs obscurs sont, soit portatifs (une dizaine de kg), soit fixes et peuvent affecter la forme de tubes lisses ou à ailettes destinés à être disposés le long de cloisons et en particulier vers les sources de froid (fenêtres, parois sur rues, etc.). Comme il faut éviter de chauffer

le plafond au détriment des parties inférieures des pièces, on tend, aujourd'hui, à accroître leur surface en diminuant leur température.

Le réglage de ces appareils s'effectue par la mise sous tension de tout ou partie des résistances chauffantes. Il y a évidemment intérêt à chauffer d'abord au maximum, puis à diminuer de façon à maintenir l'équilibre entre la quantité de calories dégagées et celles perdues (ventilation, refroidissement par les parois). Nous verrons comment ce réglage peut être rendu automatique.

Le chauffage par appareils directs serait le seul logique, si les distributeurs d'énergie électrique n'avaient été amenés à instaurer des tarifs spéciaux suivant les heures d'utilisation.

### La tarification de l'énergie électrique a engendré le chauffage par accumulation

Un coup d'œil sur une « courbe de charge » d'une centrale productrice d'énergie électrique montre immédiatement que la demande d'énergie varie dans des proportions énormes suivant les heures ; elle est environ dix fois plus grande entre 16 heures et 18 heures (pour une journée d'hiver) qu'entre 2 heures et 4 heures du matin.

Or, une centrale ne peut fonctionner avec le meilleur rendement si sa charge est trop éloignée de son maximum. Pour favoriser l'emploi du courant pendant les « heures creuses », les secteurs ont adopté un tarif dit de nuit, aussi bas que possible, réservant le prix le plus élevé aux « heures de pointe », le reste du temps dit « de jour » constituant un moyen terme.

A Paris, pour citer un exemple concret, le kWh est compté, pour l'éclairage et les usages domestiques : 4,81 f pendant la pointe, 3,82 f pendant le jour, 1,90 f pendant la nuit. Ces divers moments de la journée étant ainsi définis : pointe de 18 heures à 21 heures, jour de 7 heures à 18 heures ; nuit de 21 heures à 7 heures (1). Il va de soi que cela suppose l'emploi d'un compteur à triple cadran dont les indications passent automatiquement, aux heures fixées, d'un tarif à l'autre. Il existe d'ailleurs une autre tarifica-

(1) Ceci concerne la période d'hiver qui s'étend du relevé de compteur le plus rapproché du 1<sup>er</sup> octobre au 6<sup>me</sup> relevé de compteur suivant. Pendant la période d'été, le tarif dit de nuit a été appliqué ainsi entre 11 h 30 et 12 h 30, et le tarif de pointe a été supprimé.

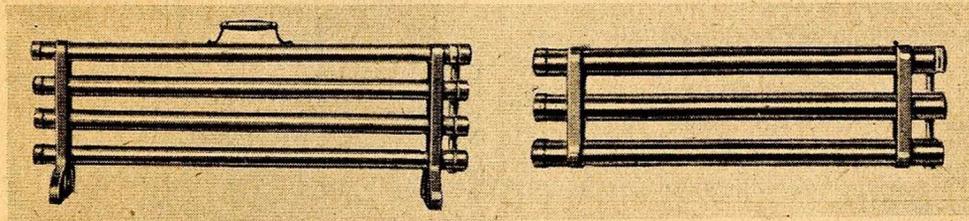


FIG. 5. — TYPES DE RADIATEURS « DIRECTS » MECANO A BASSE TEMPÉRATURE

A gauche : radiateur portatif à 4 tubes dont la puissance, suivant la longueur adoptée, va de 750 à 1 500 W. A droite : élément de radiateur fixe à 3 tubes. Le principe adopté dans ces appareils consiste à réaliser de grandes surfaces de chauffage à basse température afin d'éviter de trop forts courants de convection, qui entraînent trop rapidement les calories au plafond, et d'accroître le pourcentage du rayonnement par rapport au nombre total de calories dégagées. Ces tubes sont installés horizontalement en bas des parois, principalement sous les fenêtres et le long des murs extérieurs. Avec une puissance suffisante, on obtient, grâce à la grande surface d'échange, une montée rapide de la température. Ils s'accroissent, bien entendu, de dispositifs de réglage automatique.

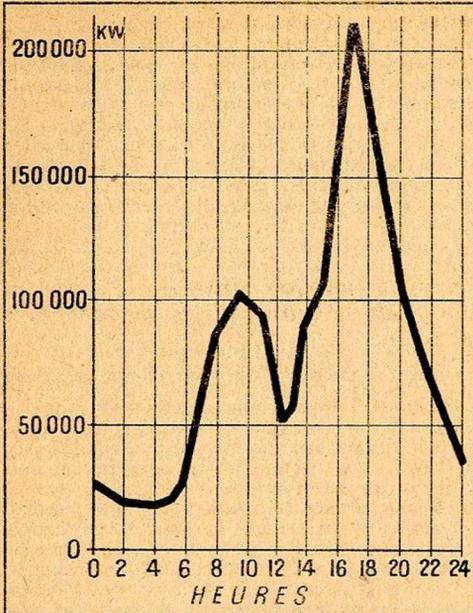


FIG. 6. — COURBE DE CHARGE JOURNALIÈRE D'UNE CENTRALE DE DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN HIVER

tion basée sur la division en tranches de l'énergie consommée. Toujours à Paris, la première tranche se paye à raison de 5,86 f le kWh, la deuxième 4,08 f et la troisième (tout ce qui dépasse la deuxième), 2,28 f. Ces tranches varient naturellement avec l'importance de l'appartement, mais, dans le but d'éviter une trop forte pointe, cette tarification, indépendante des heures d'utilisation, ne s'applique que pour des puissances contractuelles limitées. Au-dessus, le compteur à triple cadran s'impose.

Nous ne pouvons entrer ici dans une discussion complète de ces tarifs dont d'autres modalités sont prévues pour les usages commerciaux ou industriels, pour la haute tension, etc. Retenons simplement le principe du triple tarif journalier pour voir comment le chauffage électrique a su en tirer parti.

### Le chauffage par accumulation

Le problème à résoudre était le suivant : chauffer d'une manière continue en ne consommant le courant qu'à certaines heures. Il fallait donc emmagasiner des calories, au cours des « heures creuses », dans des matériaux à forte capacité calorifique, pour les restituer dans le courant de la journée. Ainsi sont nés les appareils à accumulation.

Le corps présentant la plus forte chaleur spécifique est l'eau, qui absorbe 1 calorie par kilogramme pour une élévation de température à 1° C ; mais on ne peut porter sa température au-dessus de 100° C sans précautions spéciales. Par contre, en utilisant des pierres naturelles, généralement volcaniques, ou des briques reconstituées à partir des mêmes éléments, on peut porter leur température à 500° C. Leur chaleur

spécifique étant de 0,2 calorie environ, on peut donc accumuler  $500 \times 0,2 = 100$  calories par kilogramme de ces matériaux, soit la même quantité qu'avec 1 kg d'eau à 100° C. Comme, d'autre part, la densité de ces pierres est égale à 2, contre 1 pour l'eau, on voit que le volume nécessaire au stockage d'un même nombre de calories est la moitié de ce qu'il serait avec l'eau. Un poêle à accumulation est donc constitué par un empilement de matériaux entre lesquels sont installées les résistances chauffantes. L'ensemble est enfermé dans une enveloppe qui sert non seulement de protection mécanique et de gaine pour la circulation de l'air sur les blocs accumulants, mais aussi de calorifuge qui assure une charge correcte et évite une décharge trop rapide. Ce calorifuge doit être déterminé en outre pour permettre, en cas d'oubli, d'évacuer la totalité des calories dégagées dans le cas où la température des blocs accumulants prendrait une valeur dangereuse.

Quant à la puissance à prévoir pour un tel appareil, il est évident qu'elle doit être supérieure à celle exigée par les radiateurs directs, puisqu'en dix heures il doit accumuler autant de calories que ceux-ci en débiteraient pour un chauffage d'une quinzaine d'heures. On compte une augmentation de puissance de 30 à 50 %.

La température des blocs accumulants atteint son maximum à la fin de la charge et ne cesse de décroître au cours de la journée. L'utilisation rationnelle d'un tel appareil consiste donc à fermer le registre d'air au cours de la charge de nuit, à le laisser fermé le matin, tant que la température superficielle du poêle est élevée, et à l'ouvrir graduellement pour assurer le chauffage de la pièce par circulation de l'air autour des

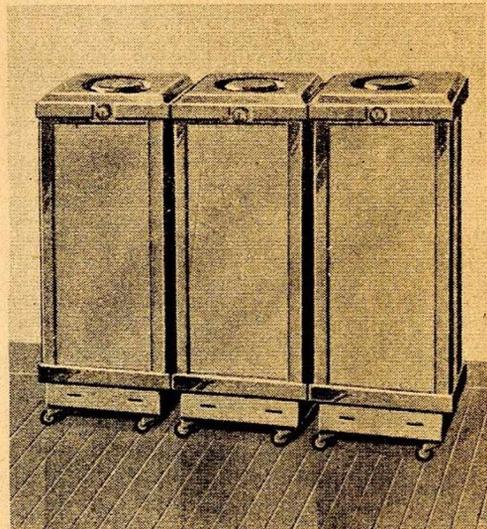


FIG. 7. — POËLE A ACCUMULATION NORDIA COMPOSÉ DE TROIS ÉLÉMENTS JUXTAPOSÉS

Chaque élément comporte son allumage indépendant et son registre de réglage du débit d'air chaud. On peut donc régler l'importance de la charge et de la décharge suivant le volume de la pièce à chauffer, la température extérieure, etc...

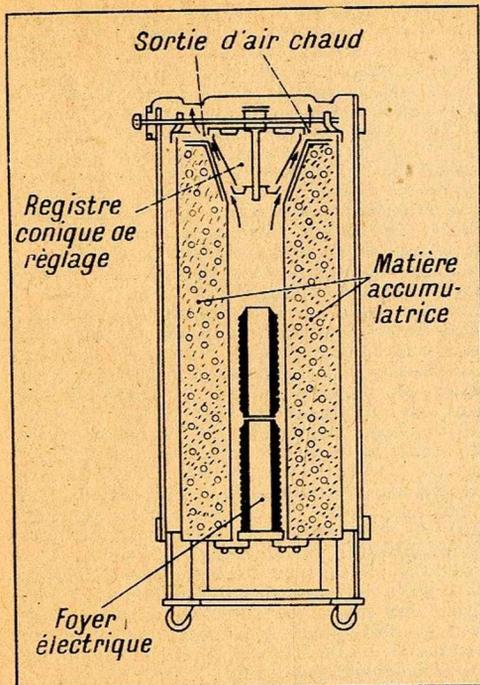


FIG. 8. — COUPE D'UN ÉLÉMENT A ACCUMULATION  
NORDIA

On voit la masse accumulative de chaleur placée autour du foyer électrique situé au centre d'une cheminée centrale et, au-dessus, le registre de réglage du débit d'air en forme de cône à grande surface de contact assurant une obturation parfaite pendant la charge. Le calorifuge n'est pas au contact des masses chaudes, mais autour d'un coffre en tôle d'acier dont le pouvoir émissif est beaucoup plus faible. On obtient ainsi un bon calorifugeage avec un volume réduit et une grande sécurité contre tout danger d'incendie. La partie inférieure est d'ailleurs doublement calorifugée pour préserver le plancher contre une élévation de température exagérée.

blocs. Ce réglage peut, d'ailleurs, être rendu automatique comme nous le verrons.

### Le chauffage à semi-accumulation

Il n'est pas toujours nécessaire d'assurer un chauffage continu, mais, pour que son prix demeure acceptable, il est toujours indispen-

sable d'éviter les heures de pointe. Ainsi sont nés les poêles à semi-accumulation, capables de conserver efficacement la chaleur pendant les deux ou trois heures que dure la pointe. Contrairement aux poêles à accumulation, ces appareils comportent des matériaux à grande conductibilité calorifique comme la fonte, en quantité moindre et sans calorifuge. Il faut en effet évacuer en 3 heures (durée de la pointe) les calories accumulées. Il a lieu de noter que ces appareils ont été conçus notamment pour passer la pointe telle qu'elle était définie avant guerre, (15 h à 18 h).

### Comment prévoir une installation de chauffage électrique. La puissance à installer

Le calcul de la puissance à installer pour le chauffage électrique n'offre aucune difficulté particulière. Il met en œuvre les données acquises par la théorie et l'expérience du chauffage ordinaire. Le calcul des déperditions de chaleur par les parois, en admettant, comme d'ordinaire, une température intérieure de 18° pour — 5° à l'extérieur, et par ventilation, donne le nombre de calories à fournir par heure. La division de ce nombre par 864 fait connaître le nombre de kilowatts à prévoir. En première approximation, on peut estimer à 25 par mètre cube et par heure le nombre des calories nécessaires à une pièce normale, lorsque toutes les pièces contiguës sont chauffées, ce qui correspond à 3 kW par 100 m<sup>2</sup> avec le chauffage direct à radiateurs obscurs, et à 4 kW pour le chauffage à accumulation. Cependant on risquerait d'aboutir à des mécomptes en se basant aveuglément sur ces indications, car les pièces à chauffer se différencient non seulement par leur exposition, et par la nature de leurs parois, mais aussi par leur volume car la puissance à prévoir n'est pas proportionnelle à ce volume.

### Le choix du mode de chauffage

Connaissant maintenant le fonctionnement des divers types d'appareils de chauffage, nous pouvons déterminer celui qui procurera le meilleur rendement économique.

Ainsi, pour un chauffage continu, on choisira les appareils à accumulation, puisqu'ils permettent de n'utiliser que le courant bon marché.

On réserve la semi-accumulation aux cas de chauffage intermittent de locaux en général non occupés à partir de 18 heures (bureaux et magasins). Il était indiqué surtout lorsque la pointe était située entre 15 et 18 h, et quand l'énergie n'était pas contingentée.

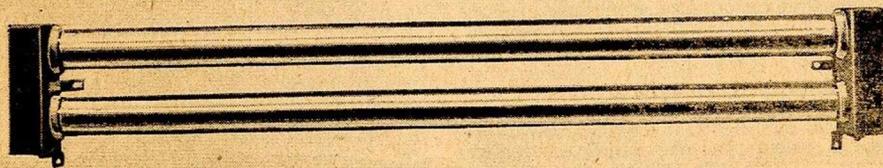


FIG. 9. — RADIATEUR MURAL MECANO A SEMI-ACCUMULATION

Les tubes de ce radiateur, plus gros que ceux des appareils directs, permettent d'emmagasiner la chaleur fournie pendant la période de charge et de restituer cette chaleur, sans consommation de courant, aux heures de pointe.

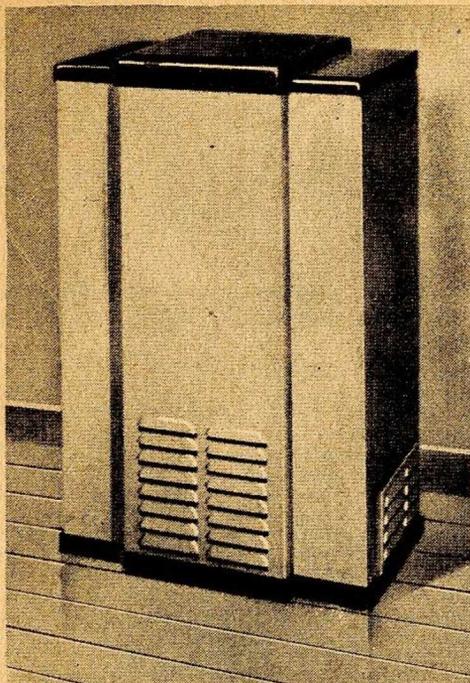


FIG. 10. — POËLE A ACCUMULATION « VIVATHERME »  
DIT « SOUFLÉ »

La caractéristique principale de cet appareil, dont la carcasse extérieure est constituée par une double enveloppe fortement calorifugée et les blocs accumulateurs en fonte sont chauffés par rayonnement de l'élément résistant en nickel-chrome, consiste dans la décharge des calories, qui n'est pas uniquement fonction de la température interne des blocs chauffants, mais est assurée mécaniquement par un groupe motoventilateur électrique rigoureusement silencieux qui absorbe une puissance de 40 W seulement. Il est alimenté par un circuit distinct de celui de la charge. L'air froid de la pièce à chauffer, aspiré dans le poêle par le ventilateur, est ainsi obligé de suivre dans l'appareil un circuit entourant les blocs de fonte avant d'être soufflé à travers des ouvertures type persienne, qui le répartissent horizontalement, favorisant ainsi le réchauffage de l'atmosphère du local en évitant une montée rapide au plafond. La température de l'air soufflé est toujours inférieure à 70°. Contrôlée par un thermostat, la décharge varie donc suivant les besoins de calories du local. A l'arrêt, les pertes par rayonnement sont minimes et toujours inférieures aux déperditions calorifiques du local lui-même; donc aucune surchauffe n'est à craindre. Par contre, par suite de la conductibilité des blocs de fonte, on peut élever très rapidement la température d'un local et réduire les périodes de préchauffage. De même, on peut obtenir un dégagement rapide de chaleur dès la mise en charge, ce qui permet soit d'utiliser occasionnellement ce poêle comme un radiateur direct, soit d'assurer le chauffage en cas de décharge prématurée (Als-Thom).

Enfin, le chauffage direct sera envisagé pour des chauffages très intermittents et aussi chaque fois que le chauffage sera limité aux heures creuses ou dans le cas du tarif par tranches (1). C'est le cas de petits appartements, dont les occupants sont absents toute la journée, des chambres à coucher, des salles de spectacle, etc. Une application particulière du chauffage direct

est celui des terrasses de café, où il ne peut être question de chauffer l'atmosphère. On utilise alors soit des appareils chauffants par convection et soufflant de l'air chaud au ras du sol, soit des radiateurs lumineux. Pour une puissance de 3 kW, leur rayon d'action est de 3 m environ.

Enfin, on pourra judicieusement combiner ces divers modes de chauffage. Ainsi, pour le chauffage d'un appartement, on utilisera l'accumulation dans les pièces occupées en permanence pendant la journée, le chauffage direct étant réservé aux chambres, cabinets de toilette, et comme appoint si nécessaire.

Parmi les applications les plus intéressantes du chauffage électrique, il faut, en effet, placer en première ligne sa collaboration avec le chauffage central au charbon ou au mazout. Dans ces conditions, on peut réduire la puissance de l'installation du chauffage central et la calculer par exemple en vue de compenser non pas une différence de 23° C (+ 18° par - 5°), mais simplement 18°, ce qui permettra d'obtenir la température désirée tous les jours où la température moyenne extérieure sera supérieure ou égale à 0° C. L'installation de chauffage central fonctionnera alors régulièrement au voisinage de son rendement maximum (une puissante installation qui fonctionne au ralenti a, en effet, un rendement déplorable) et le supplément de chaleur nécessité par les jours froids sera assuré par l'électricité, soit à la demande individuelle des locataires, soit par commande automatique. On conçoit la souplesse d'un tel chauffage mixte.

### Le chauffage central électrique

La question que l'on peut se poser, lorsqu'il s'agit d'installer le chauffage électrique total d'un immeuble, est la suivante : Vaut-il mieux prévoir des appareils chauffants dans toutes les pièces ou simplement une chaudière remplaçant la classique chaudière au charbon ou au mazout, la chaleur étant ensuite distribuée dans des radiateurs ordinaires à eau chaude ? Il va de soi que, ne pouvant s'agir que de chauffage continu, on devra faire appel à l'accumulation pour bénéficier du tarif minimum. D'après ce que nous avons dit, on pourrait craindre que le volume d'eau exigé pour l'accumulation des calories nécessaires au chauffage de toute une journée soit excessif. Cependant, cet inconvénient n'est pas prohibitif, car les réservoirs peuvent être logés dans des endroits d'accès difficile, interdits à tout autre appareil exigeant une manœuvre quelconque. De plus, en augmentant le plus possible la température de l'eau — un tube d'équilibre montant jusqu'au faite d'un immeuble de 25 m, permet d'atteindre 125° C

(1) Nous supposons, bien entendu, que l'énergie électrique n'est pas contingentée. Dans une période de restrictions comme celle que nous traversons, on ne pourrait assurer un chauffage direct sans dépasser le contingent alloué. Cependant, la consommation pendant les heures de nuit n'étant pas limitée, il est loisible à l'abonné de faire placer, à côté de son compteur normal, un deuxième compteur qui n'est enclenché automatiquement qu'en dehors de ces heures de nuit. Ainsi, d'une part, ce compteur montre immédiatement si la consommation de jour a dépassé la limite autorisée et, d'autre part, la facture est établie d'après l'indication du premier compteur qui marque le total. Il ne peut être question, ici, du triple tarif puisque nous sommes, par hypothèse, dans le cas de la tarification par tranches.

pour l'eau — et en diminuant la température des radiateurs, il est loisible d'accroître la quantité de calories disponibles. Ainsi, avec 125° à la source chaude et 60° aux radiateurs, on peut emmagasiner, par litre d'eau :  $125 - 60 = 65$  calories, alors qu'avec de l'eau à 95° (cas ordinaire) et 80° aux radiateurs on n'emmagasinerait que 15 calories. L'encombrement de l'installation est à peu près du même ordre de grandeur que celui de la chaudière classique avec sa réserve de combustible.

Enfin, l'importance de l'installation peut autoriser l'usage de courant à haute tension pour le chauffage de la chaudière et permettre de bénéficier des tarifs spéciaux pour cette tension : à Paris, 1,24 f le kWh la nuit ; 1,58 f le jour, 2,19 f pendant la pointe.

D'ailleurs l'accumulation sèche, c'est-à-dire dans des matériaux analogues à ceux dont nous avons parlé, peut aussi être envisagée. Mais dans ce cas, comme il n'est pas question de chauffer les caves, l'accumulateur de chaleur sera aussi bien calorifugé que possible afin de réduire les pertes.

### Panneaux rayonnants à basse température

Certaines installations de chauffage par panneaux rayonnants à basse température ont été réalisées. Ces panneaux sont constitués par des tubes alimentés par de l'eau chaude pulsée, placés dans le plafond, sauf pour les halls, salles de bain où on les met dans le sol, sous le carrelage. On peut également les disposer verticalement dans les murs. Toutefois, ils ne sont pas électrifiés; mais il n'est pas interdit de prévoir le chauffage électrique de l'eau pulsée dans les tubes. Une firme anglaise a établi aussi des bandes de carton faciles à dérouler et comportant une résistance électrique. On les fixe, sous plafond ou le long des parois, après les avoir isolées de ces surfaces pour éviter les pertes de conductibilité vers l'extérieur. Avec une puissance de 200 W/m<sup>2</sup>, on obtient pour ces panneaux une température de 40° C. Les essais effectués en Angleterre accuseraient une économie par rapport au chauffage par convection.

L'avantage du chauffage par rayonnement à basse température provient surtout de la logique de cette technique. En effet, le but à atteindre n'est pas de céder de la chaleur au corps humain, toujours plus chaud que l'ambiance, mais de l'en empêcher de perdre sa chaleur. Dans le chauffage par convection, si la sensation de confort est obtenue avec 18° pour une température extérieure de - 5°, il faudra atteindre 25° et plus pendant de longues périodes de grand froid, comme il s'en produit au Canada, par exemple. Dans ces conditions, on arrive à une atmosphère étouffante, sans pour cela avoir assez chaud. C'est que, nous l'avons dit, une grande partie des calories perdues par le corps humain est due au rayonnement. Or celui-ci est proportionnel à la quatrième puissance de la différence de température entre le corps et les parois. L'air surchauffé n'empêchant pas ce rayonnement de se produire, on voit qu'il y a avantage à utiliser de grandes surfaces rayonnantes à basse température, de l'ordre de 45° par exemple. Par ailleurs, l'énergie rayonnée sur tous les murs et les meubles d'une pièce se réfléchit en suivant les lois de l'optique et chauffe l'air. De sorte qu'avec une température de 14 à 15°,

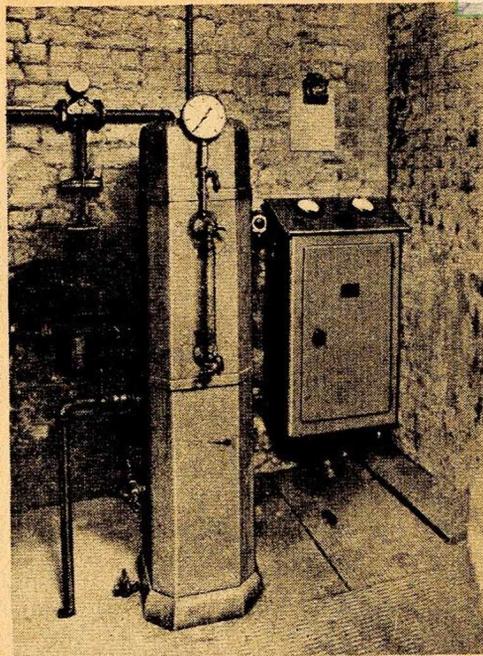


FIG. 11. — GÉNÉRATEUR DE VAPEUR POUR CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE DE 25 KW

Ce générateur est constitué par une chaudière à électrodes à basse tension (220 à 330 V) dans laquelle les calories sont dégagées dans l'eau elle-même qui sert de résistance électrique. La résistivité de l'eau étant fonction de sa composition et de sa température, et pouvant varier dans le rapport de 1 à 5, un réglage s'impose pour maintenir constante l'intensité du courant absorbé. Ce réglage est réalisé par un complice d'énergie actionnant des électrovannes expulsant de l'eau de la chaudière, si la puissance absorbée augmente, ou une pompe faisant monter le niveau de l'eau, si la puissance absorbée diminue. Quant à la pression de 500 g/cm<sup>2</sup>, elle est maintenue également constante par un manostat. On peut d'ailleurs réaliser une régulation plus complète, par exemple accepter une pression, et, par suite, une température plus élevée si la demande de calories augmente. Ce générateur peut fonctionner avec régulateur horométrique pour utiliser le courant aux heures creuses, et avec un réservoir d'eau chaude à accumulation (Diamond).

par exemple, pour - 5° au dehors, on arrive à une grande sensation de confort.

### L'automatisme dans les installations de chauffage électrique

Nous avons insisté, à diverses reprises, sur la nécessité, d'une part, de proportionner exactement la dépense d'énergie aux déperditions de chaleur, d'autre part de n'utiliser cette énergie qu'aux heures où elle est bon marché. Or, si on admet, comme dans la région parisienne, que l'installation de chauffage doit être suffisante pour maintenir + 18° pour une température extérieure de - 5°, alors que la température moyenne de l'hiver, à Paris, est de + 6°,5 environ, on voit que l'installation fonctionnera normalement sous une puissance réduite. Un réglage s'impose donc, réglage dont l'opportunité et la

précision influencent grandement le rendement économique. Seul, un réglage automatique, dont s'accommode mieux que toute autre l'énergie électrique, permet d'atteindre le but visé (1).

De quoi s'agit-il ? Prenons un exemple de chauffage par accumulation. Il s'agit d'emmagasiner pendant la nuit un nombre de calories, variable suivant la température extérieure, et de les restituer pendant la journée en quantité, variable également, mais selon la température intérieure de la pièce chauffée.

Le premier problème est en général résolu par variation de la durée de la charge. Étant toujours entendu que la charge s'effectue de nuit et que la fin de cette charge est imposée par l'heure du changement de tarif, c'est sur le début de la charge qu'il faut agir. On ne peut astreindre l'usager à effectuer lui-même la manœuvre nécessaire, qui a souvent lieu fort avant dans la nuit. Un appareil automatique, dans le détail duquel nous n'entrerons pas, se chargera efficacement de ce réglage. Il suffit, pour cela, de placer des index sur le cadran d'une horloge aux heures voulues, soit 2 heures et 7 heures pour que la charge débute à 2 heures et se termine à 7 heures.

Mais les installations de chauffage sont en général assez importantes pour que le moindre décalage entre l'horloge de réglage et le passage d'un cadran à l'autre du compteur à triple tarif se traduise par une augmentation notable de dépense. Ce passage d'un cadran à l'autre du compteur s'effectuant automatiquement sous l'impulsion, soit d'une horloge du secteur de distribution, soit d'une émission haute fréquence, on a prévu l'asservissement de l'horloge de l'abonné à celle du distributeur d'énergie pour assurer un synchronisme rigoureux entre les manœuvres de réglage du chauffage et les heures du changement de tarif.

On peut faire mieux encore. En effet, il est évidemment impossible à l'abonné de prévoir quelles seront les variations de la température extérieure pendant la nuit. On fera donc appel à un thermomètre pour soulager l'abonné de ce soin, ou mieux à un système de contacts thermostatiques. Ce dispositif, placé à l'extérieur, à l'abri du vent, est combiné avec une horloge à contacts, du type de celle dont nous avons parlé. De l'ensemble du dispositif il résulte :

1° Que la mise en charge des appareils de chauffage est impossible en dehors des heures de nuit ;

2° Que, pendant les heures de nuit, l'enclenchement ou le déclenchement du contacteur n'est possible que si le thermomètre extérieur commande cette manœuvre par un circuit spécial de relais.

Il reste à régler maintenant le nombre de calories dégagées par l'appareil suivant la température de la pièce chauffée. Nous l'avons vu, le résultat s'obtient par la manœuvre d'un registre placé sur la circulation de l'air à travers les blocs accumulateurs. Répétons-le, l'usager a tendance à mal manœuvrer ce registre, à l'ouvrir le matin, alors que les déperditions de chaleur du poêle par les parois sont assez fortes pour chauffer la pièce.

Le réglage automatique s'effectue avec un thermostat, appareil qui établit ou rompt un

contact électrique à une température donnée ; il ouvre ou ferme le circuit d'un électroaimant qui, à son tour, agit sur le registre. Il va de soi que ce thermostat sera placé convenablement pour n'être influencé ni par l'ouverture momentanée d'une fenêtre, ni par la chaleur dégagée à proximité du poêle.

S'il s'agit de *chauffage direct*, utilisé surtout comme appoint ou par intermittence, il importe évidemment que sa puissance soit assez élevée pour obtenir une montée de température rapide dans les locaux chauffés.

L'automatisme s'impose moins dans ce cas que pour l'accumulation. Cependant, la mise sous tension des appareils avant l'occupation des locaux peut être intéressante et s'effectuer au moyen d'un appareil automatique conjoncteur-disjoncteur à horloge. L'usage du courant de nuit n'est plus exclusif, mais il peut y avoir intérêt à saturer en calories les murs, meubles, etc., au tarif des heures creuses. Cependant, si l'on prévoit que les radiateurs directs peuvent être mis en service à toute heure, on peut installer un interrupteur court-circuitant l'horloge. Quant au réglage des radiateurs, il se fait soit à la main, soit par thermostat.

Le chauffage par *semi-accumulation* se règle suivant les mêmes principes. Étant donnée l'inertie calorifique des appareils, un réglage thermostatique devient illusoire.

Ainsi, quel que soit le problème de chauffage posé, l'électricité peut le résoudre, sinon toujours économiquement, du moins dans les meilleures conditions compatibles avec le prix de l'énergie.

### Le chauffage thermodynamique

Nous n'en dirons qu'un mot, car, si son principe ne souffre aucune discussion, son installation est trop onéreuse pour qu'on puisse espérer son développement immédiat.

L'idée première du chauffage thermodynamique est due à Lord Kelvin, qui l'a exprimée il y a maintenant cent ans.

On sait qu'une machine frigorifique sert à extraire les calories contenues dans l'armoire à refroidir et à les rejeter à l'extérieur par l'intermédiaire d'un gaz qu'on liquéfie.

Dans le chauffage thermodynamique, c'est l'atmosphère extérieure qui constitue en quelque sorte l'armoire frigorifique. On « pompe » les calories qu'elle contient toujours — l'air étant toujours éloigné du zéro absolu, soit 273° C au-dessus de zéro centésimal — et on les refoule dans la pièce à chauffer. Ainsi, par un apport de travail mécanique, on peut obtenir non une production de chaleur, mais un déplacement d'une quantité de chaleur sur l'échelle thermométrique de façon à la rendre utilisable pour le chauffage.

Dans ces conditions, 1 kWh utilisé, non dans un appareil de chauffage, mais pour actionner la machine, permet de récupérer 2 000 à 2 500 calories, au lieu de 864.

Cette méthode extrêmement séduisante, se heurte malheureusement à de grosses difficultés d'application. Il faut, en effet, traiter de très gros volumes d'air pour récupérer un nombre de calories intéressant. Les machines sont donc soit très encombrantes, soit assujetties à tourner à de très grandes vitesses et bruyantes. De plus, on ne peut utiliser l'accumulation et il est difficile de doser la chaleur distribuée. Par contre, la même installation peut servir, en été, au rafraîchissement des appartements.

J. MARCHAND

(1) Toutefois, l'automatisme du réglage est réservée aux installations importantes, pour ne pas trop grever les frais de premier établissement.

## DOUBLEZ LA PUISSANCE DE CHAUFFAGE DE VOTRE COMPTEUR



Le chauffage domestique, celui des bureaux, des cabinets de travail, n'est effectif que pendant le jour.

Or, par suite de la pénurie des compteurs, beaucoup d'usagers ne peuvent obtenir des secteurs les augmentations de puissance nécessaire à un chauffage plus efficace.

Nous attirons donc l'attention sur les possibilités du *chauffage mixte NORDIA*, qui, combinant l'utilisation des radiateurs à accumulation et des radiateurs à chauffage direct, permet de doubler la puissance de chauffage du compteur.

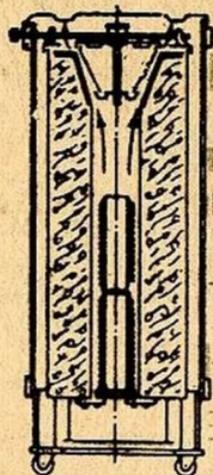
En effet, les radiateurs à accumulation NORDIA, composés d'éléments de 1 000, 1 500 ou 1 800 watts juxtaposables, brûlent le courant de nuit, emmagasinant la chaleur qu'ils restituent pendant le jour. Les radiateurs à chauffage direct, composés d'éléments en fonte de 500 watts juxtaposables, doublent les possibilités de chauffage en brûlant le courant de jour.

Nos radiateurs sont brevetés, garantis 3 et 5 ans et d'un rendement calorifique élevé.

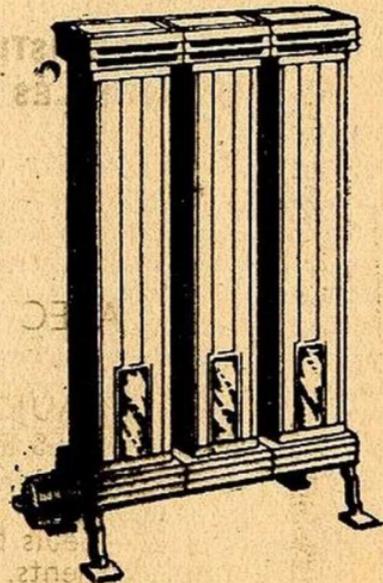
Renseignements et prix sur demande :

NORDIA, ATELIER 30

4, cité Griset, PARIS (11<sup>e</sup>). - OBERKAMPF 10-27.



Coupe d'un élément NORDIA à accumulation.



3 éléments NORDIA à chauffage direct.