

**LE CHAUFFAGE
ÉLECTRIQUE
PAR LAMPES
A RAYONNEMENT INFRA-ROUGE
(INFRA-ROUGE COURT)**

Par R. GAUTHERET

avec la collaboration de

G. SEURIN, B. HAZNADAROFF ET J. MAISONNEUVE

Vice-Président et Membres

de la Commission " Chauffage par infra-rouge "
du Comité Français d'Electrothermie



ÉDITÉ PAR
LA SOCIÉTÉ POUR LE DÉVELOPPEMENT
DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ APEL



ULTIMHEAT®
VIRTUAL MUSEUM

Le Chauffage électrique

par lampes
à rayonnement infra-rouge
(infra-rouge court)

Par R. GAUTHERET

avec la collaboration de
G. SEURIN, B. HAZNADAROFF ET J. MAISONNEUVE

Vice-Président et Membres
de la Commission " Chauffage par infra-rouge "
du Comité Français d'Electrothermie

AVANT-PROPOS

Parmi les divers modes de chauffage électrique utilisés dans l'industrie, le chauffage par rayonnement infra-rouge est le plus récent.

En dépit des conditions exceptionnellement défavorables à l'emploi et à la généralisation du chauffage électrique qui ont été en France celles des dernières années, le chauffage par « lampes infra-rouges » a connu, dans notre pays, un développement relatif important. Nous en préciserons les raisons.

Toute technique nouvelle nécessite des études, des recherches, des essais, des mises au point. Le « chauffage par rayonnement infra-rouge » n'échappe pas, bien entendu, à cette règle générale.

Tout procédé nouveau doit être adapté à la fabrication pour laquelle on veut l'employer. Réciproquement, la fabrication doit être bien souvent modifiée, si l'on veut profiter au mieux des qualités du nouveau procédé et obtenir ainsi l'efficacité maximum. Par efficacité, nous entendons un complexe difficile à définir, qui tient compte non seulement du rendement thermique, mais encore de tous les autres facteurs qui concourent à améliorer une fabrication et à en assurer l'économie. Le seul exemple de l'éclairage nous en fournirait une preuve suffisante.

Bien des idées fausses sont répandues en ce qui concerne le mode de chauffage qui nous intéresse ici, bien des erreurs ont été commises dans son application. C'est pourquoi il paraît utile de faire aujourd'hui le point des données scientifiques et industrielles relatives au chauffage infra-rouge, étant bien entendu que certains renseignements que nous indiquerons pourront être, par la suite, sujets à révision et que nous nous limiterons ici à un exposé d'ensemble, les lecteurs pouvant éventuellement se reporter à des documents plus complets et plus détaillés (voir bibliographie, page 33).

Mais, si les perfectionnements vont leur train, il n'est pas nécessaire d'attendre, pour profiter des avantages d'une méthode nouvelle, lorsque les réalisations existantes apportent déjà des résultats substantiels. En industrie, il ne faut pas arriver le dernier.

Nous terminerons par un album de photographies — choisies entre d'autres — d'installations toutes réalisées en France et qui montreront la diversité des appareils et de leurs caractéristiques ainsi que des applications. Ici encore, il doit être précisé qu'il ne pourra s'agir en l'espèce que d'un nombre limité d'applications choisies à titre d'exemples.

HISTORIQUE

C'est en 1800, au cours d'une exploration du spectre magnétique étalé par un prisme, que le physicien Herschell décèle, au moyen d'un thermomètre, l'existence de rayons invisibles situés au delà du rouge (1) et actuellement dénommés « infra-rouges ».

En 1835, « avec une hardiesse vraiment géniale, Ampère proclame l'identité des rayons lumineux et des rayons calorifiques » (2).

Depuis 1800, de nombreux savants et chercheurs ont étudié et étudient encore les problèmes que posent la production et l'utilisation des rayons infra-rouges dans les divers domaines d'application (biologiques, physiologiques, thérapeutiques, photographiques) et notamment dans l'industrie.

En 1934-1935, les Usines Ford, à Détroit, réalisent la première installation industrielle de séchage et cuisson de vernis et émaux sur carrosseries automobiles, au moyen de rayons infra-rouges sélectionnés.

Depuis cette date, le procédé de chauffage électrique par rayonnement infra-rouge s'est développé, notamment pour le séchage et la cuisson des vernis et peintures et, d'une manière plus générale, pour les traitements à basse température (jusque vers 200-250° C), tant en France qu'à l'étranger.

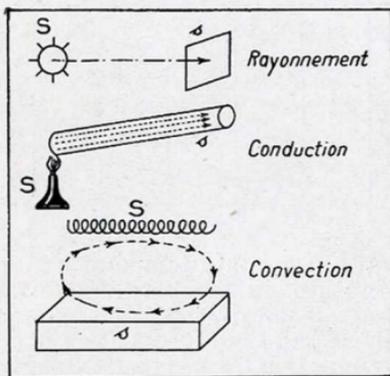


Fig. 1.

(1) Ces rayons ont été improprement appelés « calorifiques » par suite des circonstances de leur découverte. Les rayons lumineux et ultra-violetés provoquent également des manifestations thermiques; mais ce qui fait l'intérêt pratique des radiations infra-rouges, c'est en particulier la *facilité* avec laquelle on peut les produire *en grande quantité*.

(2) Cf. *Le spectre infra-rouge*, livre de J. Lecomte, 1928.

ACTUALITÉ DU CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT

Dans les opérations thermiques à toutes températures, l'industrie cherche actuellement à :

— obtenir la plus grande efficacité (compte tenu du rendement thermique) ;

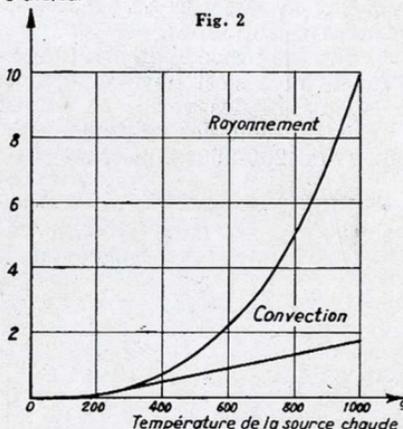
— réaliser des cycles complets de chauffage et de refroidissement aussi rapides que le permet la nature des corps traités ;

— assurer la précision et le contrôle de la température si possible automatiquement, voire suivant une courbe de chauffage et de refroidissement préétablie ;

— améliorer les conditions du travail humain pour réduire « la peine de l'homme ».

Ce sont ces désirs ou ces soucis qui sont à la base du *renouveau* du chauffage par rayonnement.

Transmission de la chaleur



Dans les opérations à haute température, par exemple à 1000° C (température du corps traité), la prédominance du transfert thermique par rayonnement à partir de la source chaude (corps de chauffe à 1100° C par exemple) est un fait (1). Dans la recherche des très hautes températures, c'est *a fortiori* le rayonnement qui reste l'élément essentiel (2).

(1) La fig. 2 montre que la transmission de chaleur par convection est peu importante aux températures élevées de la source chaude. Se reporter également à la notice APEL intitulée : « Les fours électriques à résistances », par R. Gautheret, fig. 35, 36 et 37 ; pages 28, 29 et 30.

(2) Nous laissons de côté la transmission thermique par conduction. Fig. 1.

Dans les opérations à basse température (c'est-à-dire jusque vers 250°C), qui nous intéressent ici, convection naturelle et rayonnement sont d'importance comparable dans les procédés de chauffage classiques, pour lesquels la température de la source chaude est relativement peu supérieure à celle de la source froide (corps traité); ces deux températures sont, en effet, du même ordre de grandeur; leur différence ou gradient de température est faible (par exemple 100°C si la source chaude est à 200°C et la source froide à 100°C).

Tous les efforts des chercheurs ont porté jusqu'à ces dernières années sur l'amélioration de la convection (et notamment de la convection forcée); celle-ci nécessite un fluide intermédiaire (air en général) chargé du transport des calories de la source chaude à la source froide.

Les résultats obtenus avec les premières lampes à rayons infra-rouges à haute température ont convié les usagers à examiner de nouveau les conditions du transfert calorifique par rayonnement, lequel n'exige la présence d'aucun fluide intermédiaire et présente des avantages sur lesquels nous reviendrons. Dans ce cas, le filament (source chaude) de la lampe est à $2\,200^{\circ}\text{C}$ environ et le gradient de température est, par suite, très élevé (par exemple $2\,100^{\circ}\text{C}$); le rayonnement l'emporte alors considérablement sur la convection naturelle.

Dans une étuve à convection par exemple, la température de la charge ne peut *en aucun cas* dépasser celle du fluide qui le baigne (air). Dans le cas du rayonnement au contraire, la température de la charge a *toujours* une valeur au moins égale, pratiquement supérieure, à celle du fluide qui l'environne. Se reporter à la note suivante.

Nota. — La fig. 3-4 donne deux exemples de chauffage par convection (à gauche) et par rayonnement (à droite) :

Convection. — Le diagramme donne 2 courbes de montée en température de la charge : OA pour une charge de faible chaleur spécifique

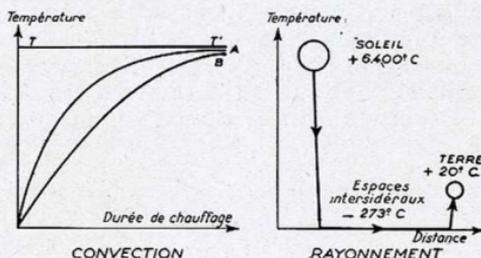


Fig. 3 et 4.

et de forte conductibilité thermique (métal par exemple) et OB pour une charge de faible conductibilité thermique et de forte chaleur spécifique (calorifuge par exemple), l'air transportant les calories étant à la température T' .

Rayonnement. — Le soleil à 6 400° C environ chauffe la terre par rayonnement. La température des espaces intersidéraux tombe à -273° C (zéro absolu) et remonte, dans l'atmosphère terrestre, jusqu'à atteindre au sol une température de l'ordre de 20° C par exemple.

Cette double figure montre une différence essentielle entre les deux modes de transport thermique. Pour la convection, le fluide est indispensable, puisqu'il est le véhicule de la chaleur. Dans le rayonnement, il ne joue théoriquement aucun rôle (et dans la plupart des cas, il en est bien ainsi), et peut même ne pas exister (chauffage dans le vide).

La fig. 5-6 met en évidence, sous une autre forme, la différence entre la convection et le rayonnement.

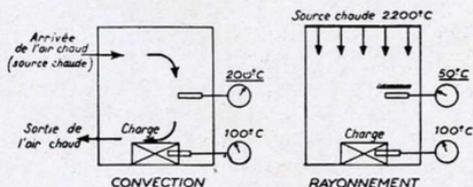


Fig. 5 et 6.

Dans le premier cas, la température d'entrée de l'air est forcément supérieure à celle de l'air à la sortie, la température de la charge étant de son côté inférieure à celle de l'air sortant. Dans le dernier cas, l'ambiance peut être à une température moindre que celle de la charge. Le thermomètre de la fig. de droite n'est placé qu'à titre indicatif, car, ainsi que nous le rappellerons plus loin, un tel appareil soumis à un rayonnement ne peut pas constituer un appareil de mesure (ou plutôt de repérage) de la température.

NATURE DU CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT INFRA-ROUGE

« Le chauffage par rayonnement infra-rouge est un mode de chauffage dans lequel on utilise un rayonnement infra-rouge de composition spectrale bien déterminé. » (1)

Cette définition indique suffisamment les points caractéristiques et nous fournit le plan logique de cette courte étude.

Il s'agit en effet :

(1) Définition établie par le Comité français d'électrothermie (1949).

<i>Raisonnement</i>	<i>Sommaire</i>						
	1° PARTIE THÉORIQUE :						
d'un rayonnement	Définition du rayonnement.						
constitué de radiations infra-rouges	Domaine de l'infra-rouge.						
qui irradient	Lois du rayonnement.						
la surface d'une substance à traiter	Reception des radiations par la substance						
	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Réflexion.</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Transmission.</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Absorption.</td> </tr> </table>	}	Réflexion.	}	Transmission.	}	Absorption.
}	Réflexion.						
}	Transmission.						
}	Absorption.						
aux fins de chauffage de celle-ci. }	Transformation en chaleur de l'énergie reçue.						

étant entendu que ce mode de chauffage doit, comme tout autre, répondre à des conditions optima d'ordre technique et économique, ce qui conduit à :

sélectionner les radiations	Sélection des radiations infra-rouges.
comparer le chauffage par rayonnement infra-rouge aux autres modes	Comparaison du chauffage par rayonnement infra-rouge et du chauffage par convection.

et, au point de vue pratique, à considérer les conditions de :

	2° PARTIE PRATIQUE :
production des infra-rouges	Production des radiations infra-rouges.
	Conditions d'emploi des lampes.
utilisation des infra-rouges	Conditions d'utilisation des infra-rouges.
	Avantages du chauffage par rayonnement infra-rouge.

et à en déduire quelles sont les applications intéressantes.

applications du chauffage par rayonnement infra-rouge	Applications du chauffage par rayonnement infra-rouge.
---	--

DÉFINITION DU RAYONNEMENT

Un rayonnement est constitué par un ensemble de radiations.

DOMAINE DES RADIATIONS INFRA-ROUGES

Dans le champ immense des radiations électromagnétiques (fig. 7), le domaine de l'infra-rouge commence immédiatement après la limite du visible et s'étend jusqu'aux ondes hertziennes qu'il chevauche partiellement.



Fig. 7.

La frontière entre le rouge (visible) et l'infra-rouge (invisible) dépend notamment de certains caractères physiologiques (œil) de l'individu et est, par suite, assez imprécise. On admet généralement qu'elle correspond à la longueur d'onde de 7 600 angströms (1).

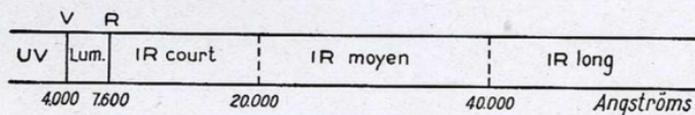


Fig. 8.

Du point de vue pratique (fig. 8), qui seul nous intéresse, nous adopterons la classification suivante (2) :

Infra-rouge court : longueurs d'ondes inférieures à 2 microns, soit 20 000 Å° ;

Infra-rouge moyen : longueurs d'ondes comprises entre 2 et 4 microns, soit 20 000 et 40 000 Å° ;

Infra-rouge long : longueurs d'ondes supérieures à 4 microns, soit 40 000 Å°.

(1) 1 angström (Å°) = 1 dix-millionième de mm = 1 dix-millième de micron (0,0001 μ).

1 micron (μ) = 1 millionième de mètre = 10 000 Å°.

(2) Classification du Comité Français d'Electrothermie (1949).

LOIS FONDAMENTALES DU RAYONNEMENT

Du point de vue thermique, les notions essentielles relatives au rayonnement énergétique sont les suivantes (1) :

Nature des radiations. Spectre.

Tout corps qui se trouve à une température différente du « zéro absolu » (-273°C) émet, par sa surface, un rayonnement énergétique, c'est-à-dire un certain nombre de radiations à des longueurs d'onde déterminées. Le spectre de ce rayonnement (fig. 9) donne la valeur de l'énergie émise pour chaque longueur d'onde λ et la surface totale comprise entre la courbe spectrale et l'axe des abscisses représente la quantité totale d'énergie émise. La surface hachurée (fig. 10) représente la quantité d'énergie émise par les radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre λ_1 et λ_2 . Le spectre dépend de la valeur de la température et

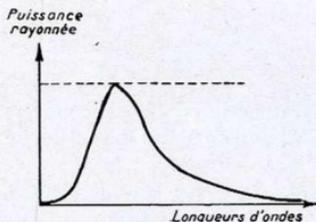


Fig. 9.

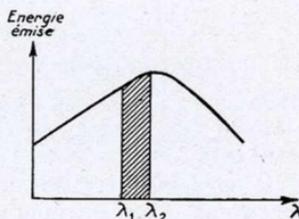


Fig. 10.

de la surface du corps. Il s'ensuit que deux corps identiques, portés à la même température dans une enceinte isotherme rayonnent l'un sur l'autre la même quantité d'énergie ; tout se passe alors comme s'il n'y avait aucun échange d'énergie entre eux ; leur température ne varie pas.

Quand deux corps identiques, mais à des températures différentes, sont en présence dans une enceinte isotherme, ils rayonnent l'un sur l'autre ; tout se passe comme si le corps le plus chaud envoyait seul de l'énergie sur le corps le plus froid, en vue de réaliser l'équilibre naturel de température.

Le rayonnement est plus complexe si les corps ne sont pas identiques.

(1) Cf. *Le rayonnement des corps incandescents*, livre de G. Ribaud, 1930.

Corps noir.

D'où la nécessité, si l'on veut déterminer d'une façon simple les conditions de l'émission en tenant compte des seules variations de la température, de définir un corps hypothétique dit « corps noir » pour lequel la notion d'état de surface n'intervienne plus. On peut ainsi rapporter tous les autres corps à ce corps-type.

Par définition, le corps noir absorbe intégralement la totalité d'un rayonnement quelconque (rôle de récepteur). D'autre part, à surface égale, il émet plus que n'importe quel autre corps porté à la même température (rôle d'émetteur).

Loi de Kirchoff.

Pour une même température et une même longueur d'onde, le rapport du pouvoir émetteur e_λ au pouvoir absorbant a_λ d'un corps donné est constant et égale au pouvoir émetteur E_λ du corps noir pour la longueur d'onde considérée :

$$\frac{e_\lambda}{a_\lambda} = E_\lambda$$

Il en résulte que :

Si le corps émet certaines radiations ($e_\lambda \neq 0$), il absorbe également ces mêmes radiations à la température considérée (car a_λ est alors $\neq 0$) ;

Si le corps est parfaitement réfléchissant ou parfaitement transparent ($a_\lambda = 0$, aucune radiation n'est absorbée), son pouvoir émissif est nul (car e_λ est alors $= 0$) ;

Si le corps absorbe certaines radiations ($a_\lambda \neq 0$), il peut, suivant la valeur de E_λ , les émettre (si E_λ est $\neq 0$) ou non (si E_λ est $= 0$).

Pour le corps noir, $E_\lambda = 1$.

Loi de Stephan Boltzmann

La quantité Q d'énergie rayonnée par seconde, c'est-à-dire la puissance rayonnée, par un corps noir de surface S à la température absolue T a pour valeur :

$$Q = KST^4$$

K étant une constante (1).

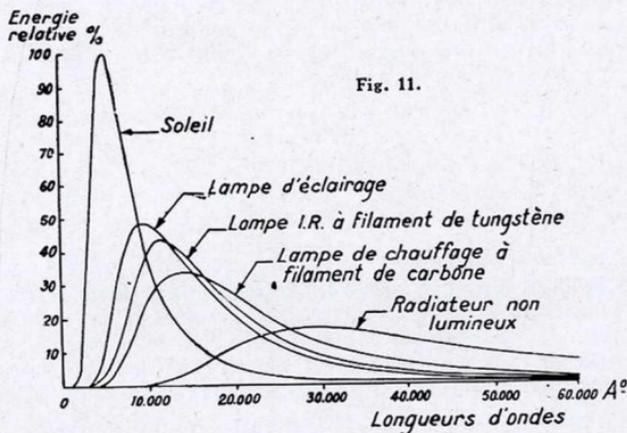
(1) Voir note page 11.

Si Q est exprimé en watts, S en cm^2 et T en degrés Kelvin ($T = t + 273$, t étant la température en degrés centésimaux), on a : $K = 5,71 \times 10^{-12}$.

Q est donc proportionnelle à la quatrième puissance de T et, par conséquent, la puissance rayonnée varie rapidement avec la température (1).

Ex. : un corps noir de 1 cm^2 rayonne $5,71 \text{ W}$ à 727° C (soit $1\,000^\circ \text{ K}$) et 91 W , soit environ seize fois plus, à $1\,727^\circ \text{ C}$ (soit $2\,000^\circ \text{ K}$). Fig. 2.

Pour les corps autres que le corps noir, la constante K a une valeur plus faible.



Loi de Wien.

La fig. 11 montre que le point le plus élevé des spectres correspondant à diverses températures se déplace vers les courtes longueurs d'onde quand la température croît.

(1) En pratique, la puissance émise suit les lois théoriques suivantes :

La puissance transmise par radiation par une source chaude à la température absolue T_1 , à une source froide identique à la température absolue T_2 , a pour valeur :

$$K' (T_1^4 - T_2^4)$$

K' étant une constante. Aux températures élevées de T_1 (cas des lampes infra-rouges), la valeur de T_2^4 est négligeable devant celle de T_1^4 . L'énergie thermique transmise par convection serait :

$$K'' (T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}}$$

K'' étant une constante dépendant des dimensions et de la configuration de la source froide. Lorsque T_2 se rapproche de T_1 , le transfert par convection tend vers zéro.

La position de ce maximum est déterminée par la loi de déplacement de Wien qui relie la température absolue T du corps noir à la longueur d'onde λ_m du maximum d'émission correspondant (1) :

$$\lambda_m \cdot T = 2\,886$$

Corps gris.

Pratiquement, pour les corps incandescents ordinaires (corps gris : métaux, carbone) qui nous intéressent, les maxima des courbes spectrales sont très inférieurs à ceux du corps noir. Mais les lois du rayonnement de ces corps se rattachent (avec des coefficients un peu différents) à celles du corps noir et cela nous suffit.

De ce qui précède, on peut déduire que :

1° *Tout rayonnement, quel qu'il soit, composé de radiations quelconques, est susceptible de produire une élévation de la température d'un corps irradié si celui-ci absorbe tout ou partie des radiations qu'il reçoit.* Si le corps irradié n'absorbe pas de radiations, il n'y a pas d'échauffement (cas théorique de la réflexion ou de la transparence parfaites);

2° *La puissance rayonnée, et par suite l'énergie transportée jusqu'aux corps irradiés, est proportionnelle à la surface totale de la source de rayonnement (radiateur) et à la quatrième puissance de sa température absolue.* Il s'ensuit que, à puissance rayonnée égale, les dimensions de la source de rayonnement sont d'autant plus faibles que sa température est plus élevée et donc que l'on pourra ainsi augmenter le taux de rayonnement par unité de surface du corps à irradier ;

3° L'importance relative dans le spectre d'émission de l'énergie représentée par les radiations de *courtes longueurs d'onde* est d'autant plus grande que la température du radiateur est plus élevée. Point essentiel (nous le verrons plus loin) et qui est une des raisons importantes de l'intérêt du chauffage par lampes infra-rouges.

Pour fixer les idées, la longueur d'onde qui transporte le

(1) On peut, en passant, en déduire la température théorique du soleil (supposé rayonnant comme un corps noir) dont le pouvoir émissif maximum a lieu dans le vert ; $\lambda_m = 4\,700$ angströms (= 0,47 micron) ; d'où $T = 288,4 : 0,47 = 8\,100^\circ\text{K}$.

maximum de puissance, selon la température du radiateur (corps noir), est donnée dans le tableau suivant :

Longueur d'onde approximative angströms	Température du radiateur	
	Degrés centésimaux	Degrés Kelvin
75 000	100	373
25 000	800	1 073
10 000	2 600	2 873

4° *Le pouvoir absorbant d'un corps donné est variable suivant la longueur d'onde de la radiation reçue.* Les longueurs d'onde des diverses radiations constituant le rayonnement de la source émettrice (radiateur) ne sont donc pas indifférentes.

Tels sont les points, importants pour notre objet, que la science et la technique actuelles permettent de préciser.

TRANSMISSION ET ABSORPTION DES RAYONS INFRA-ROUGES

Les rayons infra-rouges se comportent, vis-à-vis des substances qu'ils rencontrent, comme les rayons lumineux :

si la substance leur est parfaitement perméable, ils la traversent tout simplement, sans qu'il y ait production de chaleur ;

si la substance est parfaitement réfléchissante, ils sont réfléchis purement et simplement et il n'y a pas production de chaleur dans la substance ;

si la substance les absorbe, totalement ou partiellement, l'énergie qu'ils transportent se dégrade en énergie calorifique et par suite la température de la substance augmente.

De nombreuses études et recherches ont déjà été faites à ce sujet et nous n'en retiendrons que quelques indications succinctes utiles à la compréhension de notre sujet.

Réflexion.

Le facteur de réflexion d'un corps est, en général, essentiellement fonction de sa nature, de son état de surface, de la longueur d'onde de la radiation reçue et de l'angle d'incidence des rayons reçus, de l'hygrométrie du corps et de sa température.

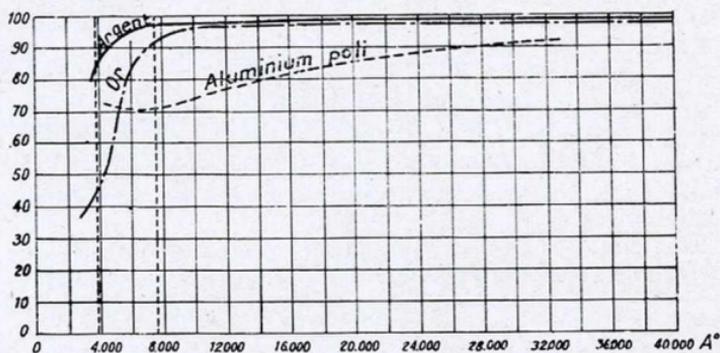
En général, le facteur le plus élevé dans l'infrarouge est obtenu avec les métaux polis : argent, or, cuivre et aluminium. Fig. 12.

Les poussières recouvrant les surfaces en diminuent considérablement le pouvoir réfléchissant.

Les corps parfaitement réfléchissants n'existent pratiquement pas.

Réflexion %

Fig. 12.



Transmission et absorption (1).

La pénétration d'une radiation dans une substance donnée dépend d'un coefficient dit « d'absorption dans la masse » qui est fonction de la longueur d'onde de cette radiation.

Cette pénétration est assez faible ; elle dépend, notamment, de la nature du corps ; par exemple, pour l'infrarouge court, elle est de l'ordre du micron dans les métaux et du cm dans la peau humaine.

Théoriquement, l'absorption peut être ou ne pas être totale, tout ou partie du rayonnement pouvant traverser le corps.

Dans le phénomène de l'absorption, la répartition de l'énergie dans la masse n'est pas régulière dans le sens de l'épaisseur et, par là-même, les effets de température en profondeur ne le sont pas.

L'énergie transmise diminue au fur et à mesure de la pénétration dans la matière, c'est-à-dire au fur et à mesure de son absorption (fig. 13, relative à une substance non transparente).

Dans la grande majorité des applications, des succès importants ont été obtenus alors que l'épaisseur de la

(1) Nous avons adopté les termes de « transmission » et « absorption » qui sont les plus usuels dans les traités de physique.

matière soumise aux radiations d'infra-rouge court se trouvait être supérieure à la profondeur réelle de pénétration du rayonnement. C'est là qu'intervient la technique industrielle proprement dite, qui doit réaliser des compromis entre les phénomènes de pénétration pure et les phénomènes de conduction.

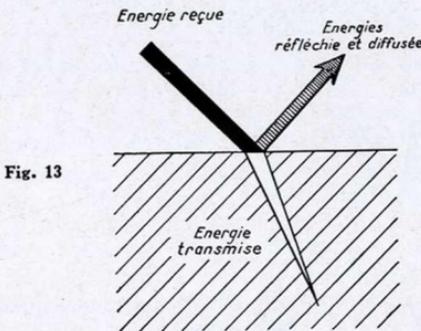


Fig. 13

TRANSFORMATION EN CHALEUR DE L'ÉNERGIE TRANSPORTÉE

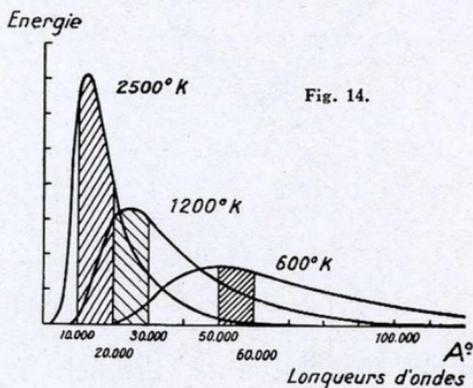
L'énergie transportée par les rayons infra-rouges, dans la mesure où elle est absorbée par une substance, se transforme intégralement en chaleur. Telle est, du moins, la conception actuelle, qui repose sur le fait que les radiations considérées semblent n'exercer aucune action autre que celle d'origine thermique sur les substances qui les absorbent. C'est ce qui les différencie des autres radiations (lumineuses et ultraviolettes par exemple).

SÉLECTION DES RADIATIONS INFRA-ROUGES]

Les raisons majeures qui ont conduit à sélectionner les radiations utilisées en chauffage électrique infra-rouge sont les suivantes :

1° A puissance rayonnée égale de la source émettrice des radiations infra-rouges, l'énergie émise dans un intervalle de longueurs d'ondes donné est d'autant plus élevée que les longueurs d'ondes sont plus courtes, c'est-à-dire que la température de l'émetteur est plus élevée. La fig. 14 illustre ce fait : La surface hachurée représente, pour chacune des sources d'émission considérées, l'énergie maximum émise

dans une zone de 10000 \AA° ; évaluée en 0/0 de l'énergie totale émise par la source, cette énergie maximum hachurée a pour valeur approximative 54,2 pour la source à la température la plus élevée, 27,3 pour la source à température intermédiaire et 15 pour la source à la température la plus basse. Ces 0/0 donnent, à puissance égale des sources considérées, la valeur approximative de la puissance maximum émise dans une zone de 10000 \AA° .



Il s'ensuit que, pour rayonner une puissance donnée, il faut une surface beaucoup plus faible dans le cas d'un émetteur à haute température que dans le cas d'un émetteur à basse température. Pour fixer les idées, pour obtenir une même puissance rayonnée avec une lampe de 375 W et une plaque chauffante à 400° C (température de rayonnement), le rapport des surfaces équivalentes est de 2,4, compte tenu de l'encombrement de la lampe ;

2° Dans le cas de grandes longueurs d'ondes, une proportion plus grande de convection s'ajoute au rayonnement (1).

Il s'ensuit que, si l'émetteur est à haute température, le rayonnement sera relativement plus important que s'il est à basse température ;

3° Les conditions d'absorption des substances dépendent de la longueur d'onde des radiations reçues (2).

(1) Il ne peut y avoir vraiment chauffage par rayonnement que s'il y a prépondérance de la transmission de la chaleur par rayonnement. Partant de là, il est peut-être exagéré de dire qu'on a affaire à un chauffage par rayonnement infra-rouge (ou à un chauffage infra-rouge) lorsque la convection l'emporte sur le rayonnement. Il s'est créé à ce sujet une confusion tout à fait regrettable et qui peut être très préjudiciable au développement d'un mode de chauffage intéressant auquel on peut être ainsi amené à imputer des résultats défavorables qui ne le concernent pas.

(2) Cf. à ce sujet les études et traités spéciaux.

COMPARAISON ENTRE LE CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT INFRA-ROUGE ET LE CHAUFFAGE PAR CONVECTION

Simple rappel succinct des principaux facteurs à considérer :

Principe du transfert thermique.

Convection : le fluide transportant la chaleur a un faible coefficient de transmission ; il lèche la surface du corps à chauffer et la transmission se fait ensuite à partir de l'extérieur vers l'intérieur, en principe par conduction.

Rayonnement : chauffage direct du corps avec pénétration plus ou moins grande ; chauffage plus profond sous la surface et par suite, en partie, chauffage de l'intérieur vers l'extérieur.

Augmentation de la transmission thermique.

Convection : deux moyens, soit que l'on augmente la température du fluide (on est vite limité dans cette voie), soit que l'on augmente sa vitesse de contact et au besoin que l'on dirige les filets du fluide (parfois difficile et coûteux à réaliser ; mais très intéressant dans certains cas).

Rayonnement : augmenter la puissance nominale des émetteurs et leur nombre et les disposer convenablement ; diriger ces radiations, pour éviter les pertes thermiques.

Ambiance.

Convection : fluide nécessaire.

Rayonnement : fluide non nécessaire. Possibilité de chauffer dans le vide.

Enceinte.

Convection : enceinte obligatoire.

Rayonnement : enceinte inutile dans certains cas, facultative ou nécessaire dans d'autres.

Calorifugeage.

Convection : nécessaire en principe, tout au moins pour les opérations de longue durée.

Rayonnement : inutile ou utile, suivant le cas.

Pertes thermiques.

Convection : on n'est pas maître de la température des parois qui, en général, sont à une température relativement élevée.

Rayonnement : on peut, suivant les besoins, avoir des parois plus froides ou plus chaudes que le produit ; elles seront d'autant plus froides qu'elles seront plus réfléchissantes.

SOURCES ÉLECTRIQUES DE RAYONNEMENT INFRA-ROUGE

Il y en a actuellement trois sortes, suivant la température de l'émetteur de radiations infra-rouges, dont dépend la gamme des longueurs d'ondes émises.

1° - Températures inférieures à 500° C.

Essentiellement, radiations émises dans les infra-rouges long et moyen, avec maximum d'émission dans l'infra-rouge long.

Caractéristiques essentielles : proportion relativement importante de convection ; faible intensité de rayonnement nécessitant de larges surfaces radiantés si l'on veut avoir une énergie suffisante ; rayonnement difficile à diriger.

Pratiquement, chauffage par plaques métalliques obscures chauffées électriquement.

2° - Températures comprises entre 500° et 1200° C.

Radiations émises dans les trois zones (infra-rouges court, moyen et long), avec maximum d'intensité dans l'une ou l'autre des deux premières zones.

Caractéristiques essentielles : proportion appréciable de convection ; intensité maximum des radiations plus élevées que dans le cas précédent, d'où possibilité de réduire la surface radiante ; rayonnement difficile à diriger, en raison de la surface notable de l'émetteur.

Éléments chauffants en céramique avec fils métalliques spiralés.

3° - Températures élevées, supérieures à 1200° C.

Radiations émises essentiellement dans l'infra-rouge court.

Caractéristiques essentielles : proportion négligeable de convection, essentiellement rayonnement ; possibilité d'avoir une très importante puissance émise par unité de surface radiante ; emploi très facile de réflecteurs permettant de diriger le flux émis, donc de le localiser et de le distribuer suivant les besoins ; possibilité de disposer l'élément émetteur dans une enceinte en verre assurant sa protection.

L'objet de la présente étude est réservé aux lampes à infra-rouge (1), donc aux sources à haute température (3^o ci-dessus).

ÉMETTEURS D'INFRA-ROUGE COURT

Conditions optima à réaliser.

Elles sont nombreuses. Citons les principales, au double point de vue technique et économique :

- obtention d'une intensité de rayonnement très élevée, c'est-à-dire de radiations capables de transporter le maximum d'énergie ;
- possibilité de diriger convenablement le rayonnement sur le plan du travail ;
- obtention d'un rendement énergétique aussi élevé que possible ;
- durée de l'émetteur aussi longue que possible ;
- réalisation facile, avec un prix de revient aussi faible que possible.

Réalisation pratique.

De ce que nous avons dit précédemment (page 12), il résulte que le radiateur infra-rouge doit être porté à haute température ; pour éviter sa destruction, il faut alors le protéger en le disposant dans une enceinte qui l'isole de l'air (pour éviter sa destruction par combustion rapide) et qui soit perméable aux infra-rouges courts.

(1) Il serait beaucoup plus logique d'adopter le terme « émetteurs électriques de rayonnement infra-rouge de courtes longueurs d'ondes » ou encore « émetteurs de rayonnement infra-rouge court » ou, à la rigueur, « émetteurs à haute température de rayons infra-rouges ». Mais l'expression « lampes infra-rouges », bien qu'impropre, est très répandue. Aussi l'emploierons-nous dans cette étude.

Description des lampes usuelles.

1° Filament.

Les radiateurs actuels sont généralement constitués par un filament de tungstène porté à l'incandescence, à la température de 2 450° K, par le passage du courant électrique, et monté à l'intérieur d'une ampoule de verre. Par leur forme extérieure, ils s'apparentent ainsi aux lampes d'éclairage ; mais ils s'en distinguent complètement par plusieurs points : leur filament est à plus faible température (d'où durée moyenne trois à quatre fois plus longue) ; leur culot n'est pas fixé par du ciment, car il doit pouvoir éventuellement résister à une température assez élevée (200° C maximum) ; il en est de même du verre de l'ampoule ; leur courbe spectrale (1) est différente (fig. 15).

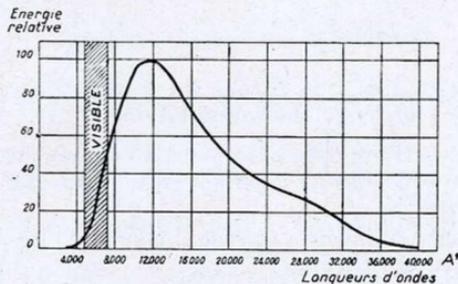


Fig. 15.

(1) A titre indicatif, une lampe d'éclairage ordinaire de 100 W, filament de tungstène porté à 2 865° K, émet des radiations réparties comme indiqué ci-après :

Longueurs d'ondes en Å....	< 3 800	de 3 800 à 5 000	de 5 000 à 6 000	de 6 000 à 7 600	de 7 600 à 14 000	> 14000
Nature des radiations.	Ultra-violet.	Lumière.			Infra-rouge	
% de la puissance consommée	0,07	0,89	2,20	6,50	36	29

La puissance rayonnée est de 74 W, dont 9,6 W seulement servent à l'éclairage (faible rendement lumineux) et 65 W sont relatifs à l'infra-rouge (83 % de la puissance rayonnée).

Dans une lampe infra-rouge, le % des radiations infra-rouges est évidemment beaucoup plus élevé, de l'ordre de 96-97.

Au début, on utilisait des filaments en *carbone*. Principaux avantages : moindre brillance (à considérer lorsque les ampoules sont dans le champ de vision). Principal inconvénient : noircissement de l'ampoule par usure du filament.

Actuellement, on a recours au tungstène : vie plus longue, tenue plus uniforme dans le temps, énergie irradiée plus élevée.

2° Ampoule.

Le verre de l'ampoule est soit *clair* soit *légèrement dépoli* (afin d'assurer une certaine diffusion du flux émis).

Différentes *formes* d'ampoules sont en usage : sphérique, parabolique, sphéro-parabolique, cylindrique. Fig. 16.

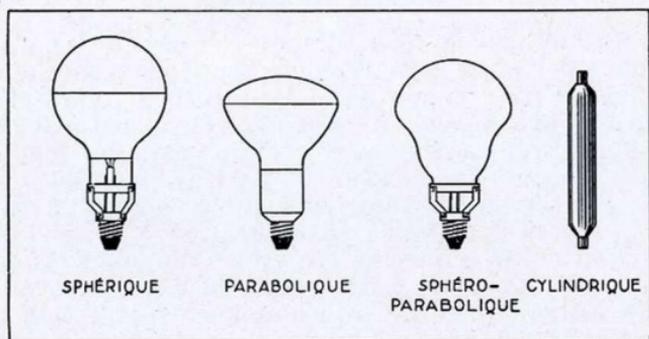


Fig. 16.

Suivant le cas (puissance en particulier), on fait le *vide* dans l'ampoule ou on y introduit un *gaz inerte*.

3° Culot.

Les culots des lampes non cylindriques sont en laiton et à vis Edison. Les lampes cylindriques sont terminées — ou non — par des pièces métalliques en laiton.

Caractéristiques des lampes usuelles.

Tensions usuelles : 115-125 et 210-230 V.

Puissances et dimensions indiquées dans le tableau de la page suivante.

Il existe également d'autres lampes, mais elles ne sont fabriquées que sur demande spéciale.

Type	Puissance W	Longueur mm	Diamètre mm
Sphérique	250 et 375	225 (1)	120 (1)
Parabolique	250 et 375	176	125
Sphéro-parabolique	250 et 375	195	125
Cylindrique	30 et 100	310	46

(1) Cotes maxima d'encombrement ; autres types : l = 160, d = 90.

Les cotes d'encombrement des lampes feront probablement l'objet d'une normalisation prochaine.

Courbe spectrale.

La fig. 15 donne la répartition de l'énergie émise, c'est-à-dire de la puissance rayonnée pour chaque longueur d'onde, par une certaine lampe normale de 250 W. La majeure partie du rayonnement infra-rouge s'étend entre 8 000 et 20 000 Å avec maximum d'intensité pour les longueurs d'ondes voisines de 11 000 Å. Le rayonnement obscur infra-rouge est accompagné obligatoirement d'un rayonnement lumineux de faible puissance (3 à 4 % environ du flux total) qui a, d'ailleurs, l'avantage d'éclairer les objets irradiés, ce qui, dans certains cas, facilite le travail. Le spectre est pauvre en radiations de longueurs d'onde supérieures à 20 000 Å.

Répartition de l'énergie sur le plan de travail.

La fig. 17 montre comment se répartit l'énergie émise sur le plan de travail suivant la distance de la lampe à ce plan.

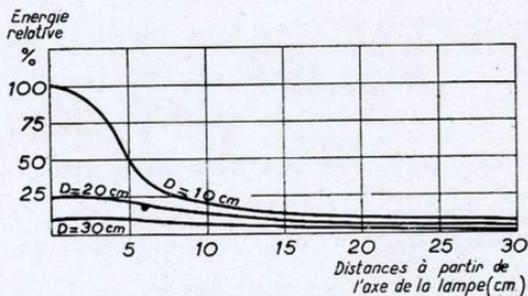


Fig. 17.

Durée des lampes.

Elle dépend :

— dans une certaine mesure, du fabricant des lampes et du constructeur de l'appareil qu'elles équipent ;

— essentiellement de l'utilisateur.

Il faut, bien entendu, éviter la casse par chocs, par vibrations ou par projections de liquides sur le verre. Avec une construction correcte de l'appareil utilisateur, la formation de points chauds sur le verre n'est pas à craindre.

Dans la pratique, la *vie moyenne d'un lot* de lampes infrarouges utilisé dans des conditions normales est actuellement de l'ordre de 3 à 4 000 heures.

Influence de la tension d'alimentation.

Il est recommandé de choisir des lampes dont la tension nominale (tension pour laquelle la lampe a été construite) soit aussi voisine que possible de la tension d'alimentation. Il importe, toutefois, de remarquer que l'influence de la tension est assez différente de celle que l'on observe avec les lampes à incandescence ordinaires (lampes d'éclairage), la latitude étant beaucoup plus large pour les lampes infra-rouges.

Si les lampes sont survoltées, elles émettent un rayonnement plus intense, mais au détriment de leur durée (beaucoup plus longue que pour les lampes d'éclairage pour lesquelles le rendement lumineux, c'est-à-dire le nombre de lumens par watt, est la caractéristique essentielle). Pratiquement, ce facteur ne joue pas.

Si elles sont sousvoltées, la puissance rayonnée est moindre, la durée allongée, mais le spectre est déformé (conséquence négligeable si l'écart entre la tension d'alimentation et la tension nominale ne dépasse pas 10 %).

La variation de la puissance rayonnée en fonction de la tension est plus faible que pour les lampes d'éclairage ou les résistances (effet Joule).

Réflecteurs.

Pour concentrer et diriger le flux radiant, on a recours à un réflecteur. Deux cas :

1° *Réflecteur extérieur.*

Généralement en alliage spécial d'aluminium (surface

correctement traitée ; facile à travailler ; longue vie) avec une surface éventuellement préparée en vue de résister à des atmosphères particulières (corrosives par exemple). — Avantage principal : facilité de diriger le flux. Inconvénients : influence de la poussière, prix.

2° Réflecteur intérieur.

Les lampes de fabrication française comportent un réflecteur intérieur réalisé au moyen de l'argentage (autrefois cuivrage) du côté culot de la lampe (partie sphérique ou parabolique) ; ce dépôt métallique à l'avantage d'être inaltérable.

INSTALLATION DES LAMPES

Parmi les facteurs que le constructeur d'appareils considère, retenons seulement les suivants :

Disposition des lampes.

Le montage des lampes en quinconce permet d'obtenir une plus grande uniformité du chauffage et une plus grande concentration d'énergie sur le plan de travail ; en revanche, un montage des lampes en carré facilite l'installation et le câblage (fig. 19 et 20).

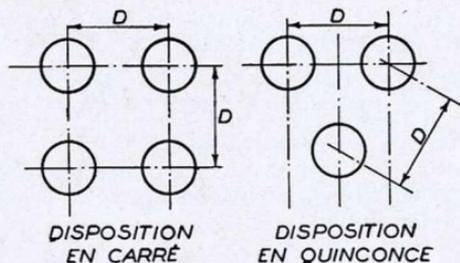


Fig. 19 et 20.

L'écartement entr'axes des lampes est le paramètre le plus important. En pratique, on a fréquemment, avec des lampes de 250 W par exemple, des densités surfaciques de 2 à 10 kW/m² en puissance installée.

Quant à l'éloignement du plan de travail, son influence, qui est grande pour l'emploi d'une lampe seule ou de lampes

à faible densité, perd de son importance quand la densité augmente.

Le chauffage infra-rouge est, rappelons-le, un chauffage par rayonnement. Il y a donc lieu de diriger le rayonnement vers l'objet à chauffer.

Le chauffage infra-rouge présente de la souplesse, mais nécessite de l'expérience, car il y a à faire un compromis entre diverses considérations, ce qui est d'ailleurs souvent le cas dans l'industrie.

Nature des objets à traiter.

Si l'objet est conducteur de la chaleur, la conduction facilitera l'uniformité du chauffage (ex. : tôles). Sinon, il faudra, en principe, assurer une répartition plus uniforme des lampes, afin d'éviter les points chauds.

Déplacement des objets.

Si les objets se déplacent par rapport aux lampes (étuve-tunnel à convoyeur), le facteur « uniformité de la répartition du rayonnement sur le plan de travail » aura évidemment moins d'importance que si les pièces sont immobiles pendant le chauffage.

APPAREILS D'UTILISATION

Quelques remarques.

Emploi des lampes.

Les lampes sont utilisées soit seules, soit le plus souvent groupées (rampes, panneaux, parois d'étuves, supports divers).

Elles sont disposées soit à l'air libre (ex. : montage sur support orientable), soit dans une enceinte plus ou moins close (ex. : étuve), soit dans une enceinte fermée (ex. : étuve à vide).

Dans certains cas, il est nécessaire de prendre des dispositions pour que la température des culots des lampes (voire également des ampoules elles-mêmes) ne dépasse pas accidentellement la valeur indiquée par le fabricant : entre autres moyens, culots placés à l'extérieur des parois d'une

étuve ou à l'intérieur d'une double paroi dans laquelle circule — ou non — un courant d'air.

Des dispositions peuvent être prises, si besoin est, pour éviter l'action des trépidations.

Nature des parois.

Le plus souvent, l'intérieur de l'appareil est revêtu d'une tôle métallique ayant un bon facteur de réflexion pour les rayons infra-rouges courts ; ces derniers subissent, en effet, de nombreuses réflexions sur les parois. On utilise généralement soit de l'aluminium poli (facteur de réflexion de l'ordre de 70 %), soit de l'aluminium ayant subi un brillantage électrolytique (80 %).

Calorifugeage.

Pratiquement, il est souvent intéressant de calorifuger les étuves (double paroi avec intervalle d'air ou laine de verre), afin d'augmenter le rendement thermique.

Ventilation.

Elle peut s'imposer (cas de certaines déshydratations) ou tout au moins être utile : éviter la formation d'un brouillard de vapeur d'eau ou de solvants volatiles susceptibles d'absorber le rayonnement en proportion notable, assurer un conditionnement de l'air nécessaire pour certains traitements, permettre l'évacuation des vapeurs si besoin est, éventuellement réaliser une récupération thermique permettant d'améliorer le rendement. Bien entendu, cette ventilation doit être limitée aux conditions fixées pour le but à atteindre.

Différents types d'appareils.

Nombre presque illimité. Essentiellement : rampes ou panneaux mobiles montés sur supports articulés permettant d'en modifier l'orientation, ou juxtaposés pour former des parois fixes : voûtes, soles ou piédroits d'une étuve. Les étuves sont très diverses : types armoire, cloche, tunnel. Dans les étuves continues, les pièces peuvent être portées ou suspendues, les convoyeurs étant d'un type classique : tapis roulant, chaîne sans fin, monorail.

Commande et régulation.

Elles peuvent être soit manuelles, soit automatiques et concerner les circuits de chauffage (lampes), les circuits de ventilation (conditionnement de l'air par exemple) ou le mécanisme d'avancement des objets et régler la production horaire en fonction du traitement désiré.

Exemples.

Les photos qui illustrent cette notice permettent de se rendre compte de la diversité des appareils tant dans leur nature que par la puissance globale des lampes qui les équipent.

AVANTAGES DU CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT INFRA-ROUGE

Les principaux avantages reconnus à ce mode de chauffage sont les suivants :

Du point de vue technique.

Vitesse d'opération. — Vitesse de traitement augmentée, souvent dans des proportions considérables, par exemple pour le séchage ou la cuisson de certains vernis et peintures en couches minces sur tôles métalliques. Raisons : taux élevé du rayonnement, pénétration intéressante des rayons infra-rouges, indépendance relative des conditions ambiantes.

Souplesse. — Réglage facile de l'énergie reçue par la charge : variation du nombre de lampes sous tension, variation de la distance des lampes au plan de travail, variation de la vitesse de circulation de la charge. Possibilité de réaliser facilement un cycle de chauffage en fonction du temps. Inertie négligeable pour les moyens de réglage. Possibilité d'obtenir un réglage très précis de la température du corps traité.

Uniformité du chauffage. — Grâce à la disposition des lampes et à la possibilité d'assurer un réglage manuel ou automatique de l'énergie émise.

Qualité du traitement. — Conséquence des deux avantages précédents. Suppression ou réduction corrélatives des rebuts.

Mise en route et arrêt faciles et de courte durée. — Conséquences : gains d'énergie, de main d'œuvre, de matière (pas de déchets de commencement ou de fin d'opération).

Simplicité de la construction et de la conduite. — Incidence sur la dépense d'installation et sur les prix de revient.

Encombrement. — Faible encombrement, notamment à cause de l'augmentation de la vitesse du travail (production accrue). Possibilité d'envisager au besoin un appareil du type vertical ou suspendu au plafond de l'atelier.

Visibilité des objets en cours de traitement. — Souvent intéressant dans la pratique.

Portabilité, déplacement. — Montage et démontages faciles : cas de déplacements de l'appareil.

Sécurité. — Moindres risques d'incendie, d'incidents et d'accidents.

Du point de vue économique.

Concourent à réduire les prix de revient (amortissement de la dépense d'installation, frais normaux relatifs au traitement des objets) tous les avantages techniques ci-dessus indiqués et notamment :

- l'accroissement de la production ;
- la réduction (corrélative ou non) des frais de main-d'œuvre ;
- la qualité des produits traités et la réduction ou la suppression des rebuts ;
- la faible valeur relative de la dépense d'installation ;
- la valeur élevée du rendement énergétique ;
- le faible encombrement relatif (location ou utilisation du terrain).

Du point de vue social.

Essentiellement :

- conditions favorables de travail ;
- sécurité.

Caractères essentiels du chauffage par lampes infra-rouges.

Le chauffage infra-rouge est un chauffage par rayonnement.

Le rayonnement peut et doit être dirigé.

La puissance rayonnée est proportionnelle à la puissance quatre de la température absolue de l'émetteur et à sa surface.

Les radiations infra-rouges émises à haute température sont essentiellement de courte longueur d'onde.

Les lampes infra-rouges sont des émetteurs à haute température, donc ils produisent essentiellement des rayons infra-rouges de courte longueur d'onde et de forte concentration énergétique.

Les radiations infra-rouges sont fortement absorbées par la plupart des substances solides et liquides et la pénétration est plus forte pour les infra-rouges de courte longueur d'onde.

L'énergie transportée par les radiations infra-rouges se transforme intégralement en chaleur dans les substances qui les absorbent.

Le chauffage infra-rouge par lampes permet donc de diriger, sur une surface donnée, un rayonnement d'intensité élevée et intégralement transformé en chaleur, donc d'augmenter considérablement la vitesse de chauffage.

Il permet aussi de chauffer dans le vide.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Elles sont déjà nombreuses et un certain nombre d'entre elles sont mises en évidence par les photographies qui illustrent cette notice.

Quelques remarques.

A ce sujet, il ne faut pas perdre de vue les considérations suivantes :

— la température du traitement ne doit pas dépasser 200° C environ ;

— le chauffage considéré est avant tout un chauffage de surface, car la pénétration des infra-rouges est relativement faible. D'où difficulté ou impossibilité de chauffer à cœur les corps mauvais conducteurs de la chaleur s'ils ont une grande épaisseur ;

— les radiations sont émises en ligne droite, ce qui rend plus difficile le chauffage des objets de forme complexe, surtout s'ils sont mauvais conducteurs de la chaleur. On y parvient toutefois par des dispositions spéciales ;

— le chauffage des objets métalliques est considérablement facilité par la conduction ;

— on peut avoir intérêt à associer, dans certains cas particuliers, le chauffage par infra-rouge à un autre mode de chauffage (convection par exemple) aux fins d'accélérer certains traitements.

— le chauffage infra-rouge semble de réalisation facile. Il n'en est rien. Conséquence : il faut s'adresser à un constructeur sérieux et expérimenté.

— dans l'étude d'un problème industriel de chauffage infra-rouge, il faut se méfier des extrapolations exagérées. Un essai sérieux de laboratoire peut donner d'utiles indications surtout qualitatives, mais il ne suffit généralement pas. Il est encore nécessaire de bien connaître certaines lois physiques et notamment celles du rayonnement ainsi que les règles de la construction et de les appliquer judicieusement. C'est à cela qu'il faut attribuer essentiellement les déboires de ceux qui ont voulu innover en la matière, sans avoir les connaissances de base suffisantes.

— en principe, il n'est pas économique de s'adresser au chauffage infra-rouge pour réaliser le séchage de produits de peu de valeur très chargés en eau.

— un thermomètre placé dans un rayonnement ne donne pas la température qu'atteindrait un corps placé au même endroit ; il donne seulement la température qu'aurait une masse de mercure de même forme et de mêmes dimensions que celle que contient le thermomètre. Pour repérer la température dans une enceinte, il faut soustraire le thermomètre à l'action des radiations. D'ailleurs, ce qui importe dans toute opération thermique et particulièrement en chauffage par rayonnement, ce n'est pas la température de l'ambiance, mais bel et bien celle du corps soumis au chauffage.

— dans un chauffage par rayonnement, la nature de la substance à chauffer et son état de surface sont des facteurs importants à considérer.

Comme exemple intéressant de chauffage infra-rouge, signalons le séchage des peintures en couche mince sur tôles métalliques. Les radiations traversent en grande partie le film de peinture et chauffent le métal sous-jacent. On réalise ainsi le séchage idéal de la peinture par chauffage du support, celui-ci chauffant à son tour la couche de peinture vers l'extérieur (1).

Classification des applications.

Le chauffage infra-rouge se développe chaque jour en surface et en profondeur. Il est encore trop tôt pour donner des indications complètes et définitives sur les applications très variées de ce mode de chauffage. D'autre part, la place nous manque pour préciser, pour chacune des installations dont nous donnons une photographie, les résultats obtenus.

Les renseignements ne peuvent, en effet, être utiles au lecteur que s'ils sont *complets*, c'est-à-dire s'ils précisent les conditions exactes de travail ; la nature des produits traités, la qualité des produits finis, le prix de revient du procédé, les avantages (chiffrables et non chiffrables) reconnus. Nous nous limiterons donc à l'indication de la nature du traitement effectué et la puissance des appareils représentés.

Toutes les photographies se rapportent à des *appareils installés en France depuis 1946*, à l'exception de quelques-uns d'entre eux ; mais, dans ce dernier cas, d'autres appareils semblables ont été mis en service plus récemment.

Les principales applications actuellement réalisées sont

(1) Cf. « Le séchage par rayonnement I. R. des couches de vernis et des surfaces humides » par B. Haznadaroff (R. G. E., octobre 1945).

relatives au séchage et à la cuisson des peintures et vernis (oxydation, polymérisation, etc.) sur métaux ou sur autres substances :

- à des déshydratations et séchages divers (métaux, textiles, céramiques, plastiques, etc...);
- à des traitements divers (plastiques par exemple) ;
- à de simples chauffages (préchauffage, dilatation, etc.) ;
- à des traitements sous vide.

Elles intéressent les industries des métaux (automobiles, cycles, mécanique, tôlerie, etc...), des plastiques, des textiles du cuir, du papier, du bois, de la céramique, de l'alimentation, du bâtiment, de la chapellerie, de la fonderie, etc...

Des deux installations actuellement les plus importantes en France, l'une comporte environ 6 600 lampes (plus de 1 900 kW) et l'autre, en cours d'équipement, quelques 15 000 lampes (3750 kW) déjà en service.

D'autres installations importantes sont en cours d'équipement. Le nombre des petites installations (de une à quelques dizaines ou centaines de lampes) augmente rapidement.

La production annuelle en France est actuellement de l'ordre de 140.000 lampes (plus de 35000 kW). Aux U. S. A. d'après les derniers renseignements connus, elle dépasserait 2 millions de lampes, tant pour les applications industrielles que pour les autres applications (agricoles et domestiques).

CONCLUSION

Le chauffage par lampes infra-rouges est en plein développement. La technique industrielle s'en affirme chaque jour. Sous réserve qu'il soit *judicieusement adapté et correctement utilisé*, il doit permettre de trouver une solution avantageuse à un très grand nombre des problèmes à basse température que l'industrie cherche à résoudre.

Décembre 1950.

BIBLIOGRAPHIE

De nombreux articles ont paru, depuis 1943, dans la plupart des revues françaises. Un grand nombre de ces articles se répètent forcément, tout au moins dans leurs considérations générales. D'autre part, des progrès importants ont été réalisés, au cours des deux ou trois dernières années, dans la technique industrielle du chauffage par rayonnement infra-rouge. C'est pourquoi nous ne retiendrons, dans une bibliographie très sommaire relative au chauffage électrique, que les livres généraux et les articles essentiels parus récemment dans la presse, ainsi que quelques descriptions précises ou suffisamment complètes d'installations.

LIVRES (ordre chronologique).

- Le spectre infra-rouge**, par J. Lecomte, 1928.
Le rayonnement des corps incandescents, par G. Ribaud, 1930.
Les applications pratiques des rayons infra-rouges, par M. Déribéré, 1943.
Industrial Applications of Infrared, par J. D. Hall (texte anglais), 1947.
Infra-red Heating, par A. E. Williams (texte anglais), 1947.
Infra-rood Stralers, par J. J. A. Manders (texte hollandais), 1948.
Chauffage et séchage par lampes à rayonnement infra-rouge, par La Toison (en cours d'impression, fin 1950).

ARTICLES

- Principaux articles récents de M. Déribéré : **Le séchage par rayonnement infra-rouge de quelques produits chimiques** (*Industrie Chimique*, octobre 1948) ; **Le séchage par rayonnement dans l'industrie céramique** (*Industrie Céramique*, décembre 1948) ; **Quelques applications du séchage par rayonnement infra-rouge dans les industries alimentaires** (*L'Électrique*, 1947-1948) ; **Séchage de la colle par rayonnement infra-rouge** (*La France Graphique*, octobre 1948) ; **Séchage des fibres textiles par l'infra-rouge** (*TIBA*, juillet 1948) ; **Le rayonnement infra-rouge dans les industries du cuir** (*Revue Technique de l'Industrie du Cuir*, juin 1948) ; **Le rayonnement infra-rouge et ses applications en industrie laitière** (*L'Industrie Laitière*, mars 1949) ; **Séchage et cuisson infra-rouge des noyaux de fonderie** (*La Métallurgie*, novembre 1949). Pour les autres articles, se reporter au livre de M. Déribéré ci-dessus indiqué.
- Articles de G. Le Guën : **L'utilisation rationnelle des radiations infra-rouges de séchage** (*Électricité*, janvier 1944) ; **La détermination de l'isoradiance** (*Peintures, pigments et vernis*, mai 1944).
- Article de B. Haznadaroff : **Le séchage par rayonnement infra-rouge des couches de vernis et des surfaces humides** (*Revue Générale de l'Électricité*, octobre 1945).
- Article de J. Maisonneuve : **Le séchage et la cuisson des sardines opérés simultanément par lampes à rayonnement infra-rouge** (*Revue de la Conserve*, décembre 1948).
- Article de B. Haznadaroff et J. Maisonneuve : **De l'éclairage à l'électrothermie** (*Lux*, n° 1, 1949).
- Articles de R. Gautheret (descriptions d'installations, revue *Électricité*) : **Une installation de vernissage à rayons infra-rouges** (avril 1946) ; **Une étuve de séchage des feutres de chapeaux par rayons infra-rouges** (juillet-août 1946) ; **Séchage de peintures et vernis par rayons infra-rouges** (mars 1947) ; **Une installation de séchage de fulminate par rayons infra-rouges** (juin 1947) ; **Le séchage par rayonnement infra-**

rouge de l'impression en timbrage relief (mai 1950) ; Le séchage par rayons infra-rouges des rubans d'enregistrement magnétique des sons dans une usine moderne (juin 1950).

CONFÉRENCES ET COMMUNICATIONS

- De l'utilisation du rayonnement infra-rouge court aux problèmes de séchage dans l'industrie textile**, exposé fait par G. Seurin à l'Institut Textile de France (*Revue L'Industrie Textile*, septembre 1949).
- Production et utilisation des radiations infra-rouges de séchage**, communication de G. Le Guën au premier Congrès International de l'Industrie des Peintures (octobre 1947).
- Application des rayons infra-rouges à l'industrie des peintures et vernis**, communication de M. Dérivé au même Congrès que ci-dessus.
- Four spécialement conçu pour le séchage par rayons infra-rouges courts**, communication de G. Seurin aux Journées Françaises d'Electrothermie (septembre 1949).
- Séchage de poudres explosives par rayonnement infra-rouge**, communication de J. Jourdan aux mêmes Journées.
- Etuve double pour séchage de la couche d'impression de carrosseries automobiles**, communication de R. Aubert et N. Duclos aux mêmes Journées.
- Application du rayonnement infra-rouge court au séchage d'encollage sur fil de chains**, conférence de G. Seurin à l'Institut Technique Roubaisien (1950).

DIVERS

Documents de la Compagnie des Lampes : **Lampes à rayonnement infra-rouge pour applications thermiques**, par J. Maisonneuve (*Informations Mazda*, 1947) ; **Applications industrielles des lampes à rayonnement infra-rouge**, par J. Maisonneuve (*Informations Mazda*, 1948).

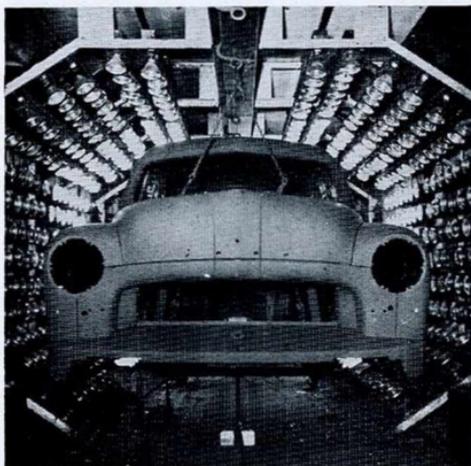
Documents de la Société Philips : **Le séchage des peintures et vernis à l'aide des lampes à rayonnement infra-rouge**, par B. Haznadaroff (1946) ; **Exemples d'applications des lampes à rayonnement infra-rouge Philips**, par B. Haznadaroff (1946).

Documents de la General Electric Co.

NOTA

Les documents photographiques qui illustrent la présente brochure ont été fournis par les Sociétés suivantes (ordre alphabétique) : Compagnie des Forges d'Audincourt, Compagnie des Lampes Mazda, Imprimerie de la Gironde, Société Charvo, Société d'Etudes et de Contrôle Industriels (S. E. C. I.), Société pour l'Exploitation des Procédés Seurin (S. E. P. S.), Société S. E. U. R. E. M., Société Guégan, Société Mabor, Société Moderne d'Applications thermiques (S. M. A. T.), Société Philips, Société R. G., Société Visseaux. Sauf indication contraire, la puissance individuelle des lampes est de 250 W, parfois de 375 W.

Les lampes infra-rouges qui équipent les appareils représentés proviennent des Sociétés suivantes (ordre alphabétique) : Mazda, Philips, Visseaux.



(Doc. Philips.)

Fig. 20. — Traitement de peinture sur carrosserie automobile 2 000 lampes.



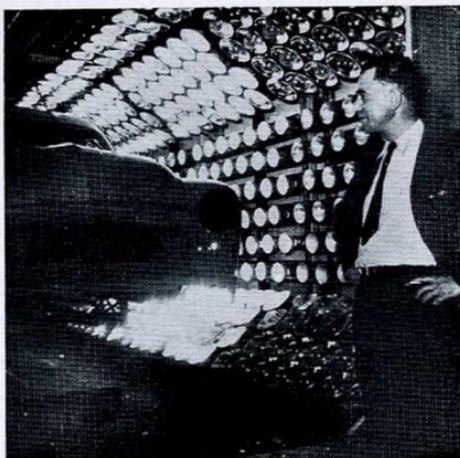
(Doc. Mazda.)

Fig. 21. — Etuve-cloche (position ouverte.) Traitement de peinture sur carrosserie automobile 160 lampes.



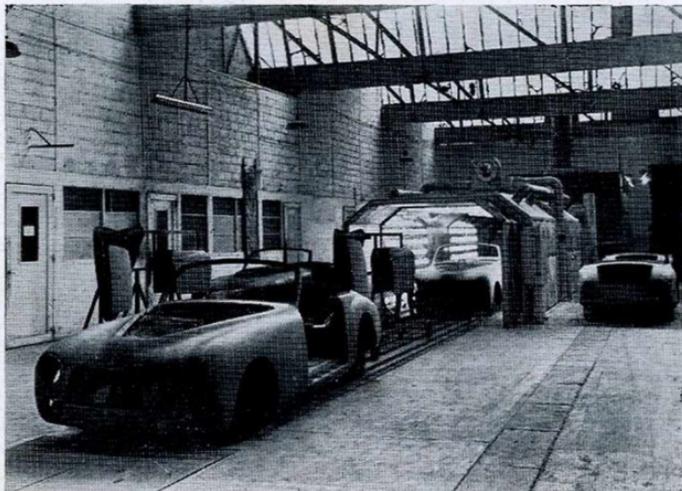
(Doc. Mazda.)

Fig. 22. — Même étuve que fig. 21 (position fermée, l'étuve épouse la forme de la carrosserie).



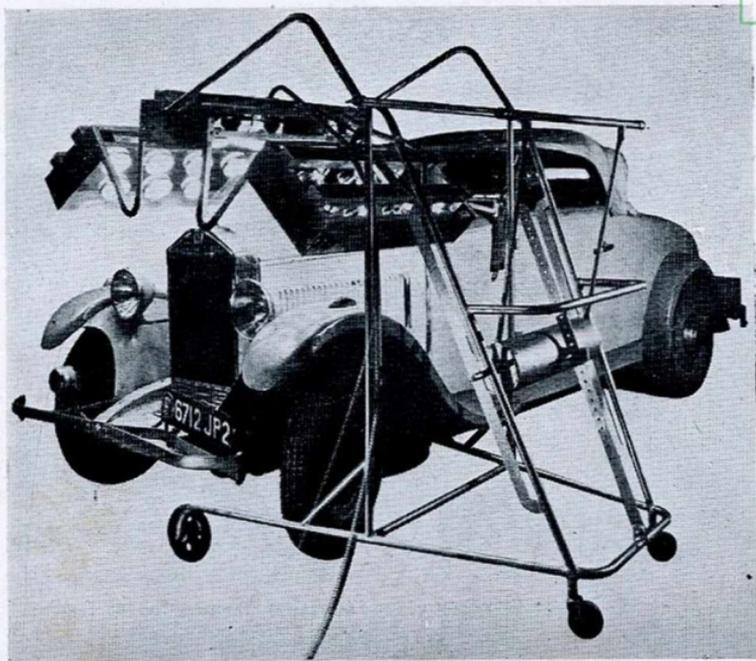
(Doc. Philips.)

Fig. 23. — Même étuve que fig. 20.



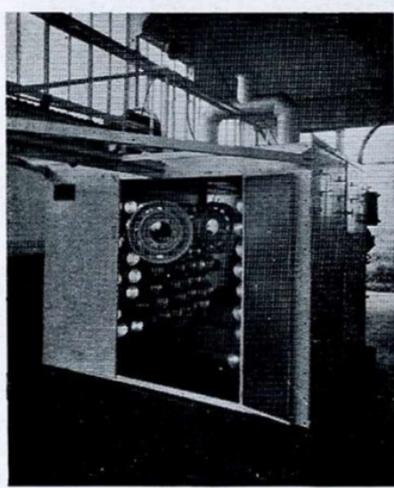
(Photo Francis, doc. Mabor.)

Fig. 24. — Traitement de peinture sur carrosserie automobile 600 lampes.



(Photo Boiron, doc. Mazda.)

Fig. 25. — Système de panneaux radiants orientables : réfection de carrosserie automobile 21 lampes.



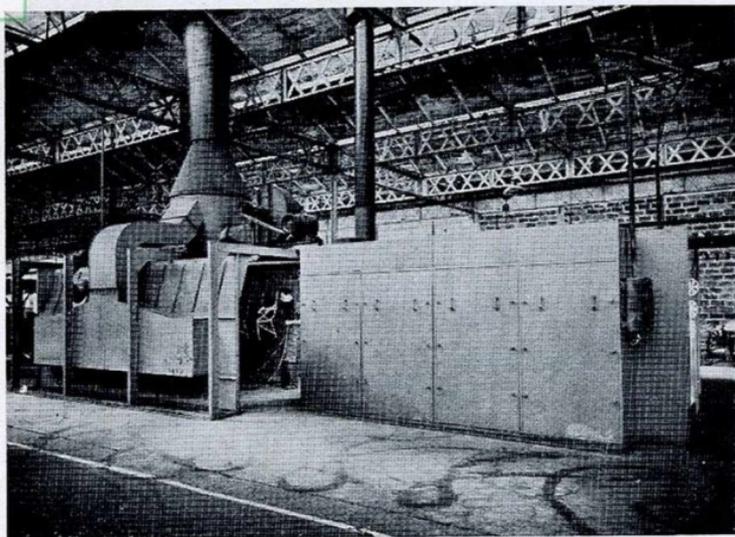
(Photo O. D. F., doc. Mazda.)

Fig. 26. — Etuve pour essais et traitements industriels, en service chez un fabricant de peintures 100 lampes.



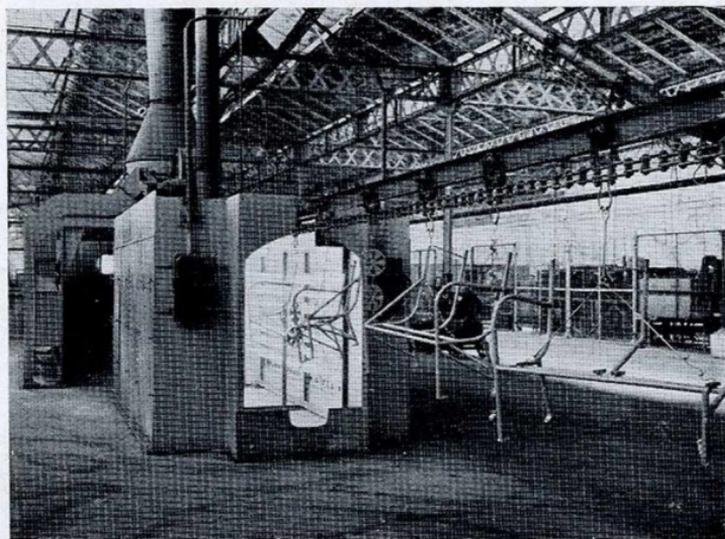
(Doc. S. E. C. I.)

Fig. 27. — Raccords de peinture sur carrosserie automobile 6 lampes.



(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 28. — Traitement de peinture sur accessoires automobiles 280 lampes.



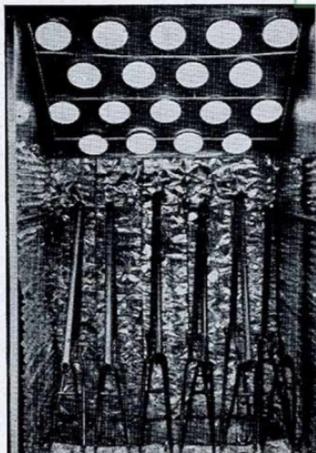
(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 29. — Même cabine de pistolage et étuve que fig. 28.



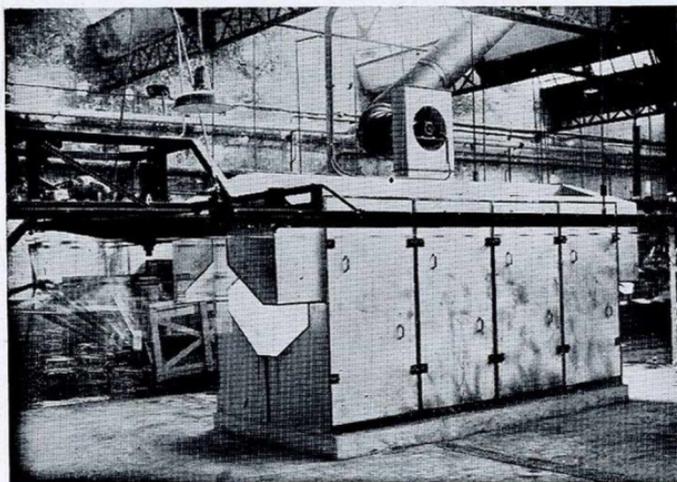
(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 30. — Traitement de peinture sur cadres de bicyclettes 220 lampes.



(Doc. Philips.)

Fig. 31. — Traitement de peinture sur cadres de bicyclettes 18 lampes.



(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 32. — Même étuve que fig. 30



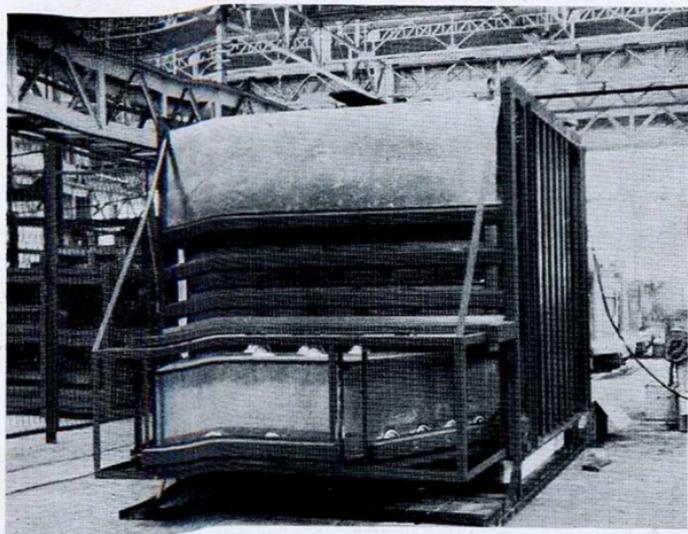
(Doc. Philips.)

Fig. 33. — Raccords de peinture sur carrosserie automobile 7 lampes.



(Photo GADÉ, doc. R. G.)

Fig. 34. — Panneaux radiants (carrosseries, bois, etc.) 51 lampes.



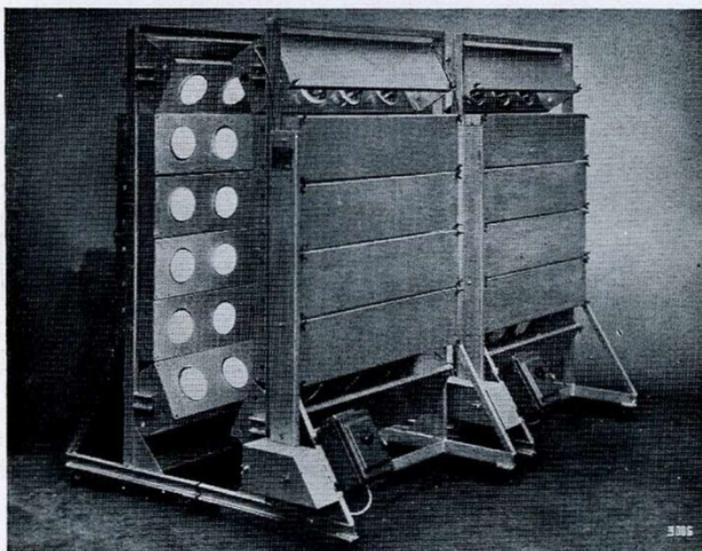
(Doc. S. M. A. T.)

Fig. 35. — Traitement de peinture sur bâtis en fonte de machines-outils 136 lampes.



(Doc. Philips et Mabor.)

Fig. 36. — Traitement de peinture sur bicyclettes et trottinettes 80 lampes.



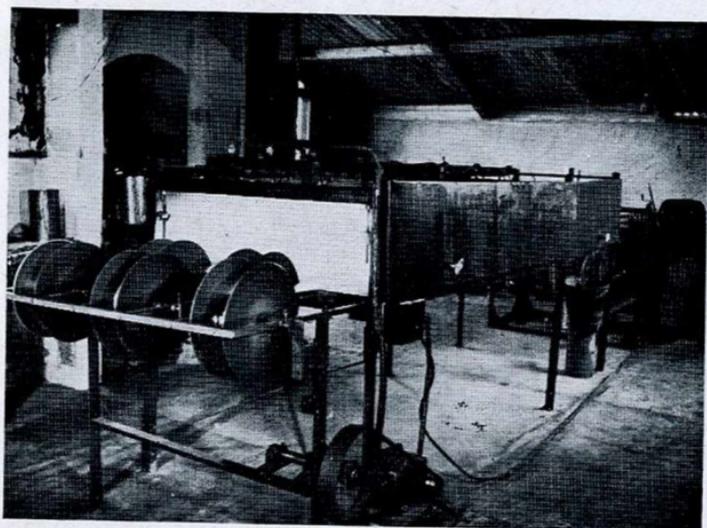
(Doc. Philips et Mabor.)

Fig. 37. — Traitement de peinture sur cycles 120 lampes.



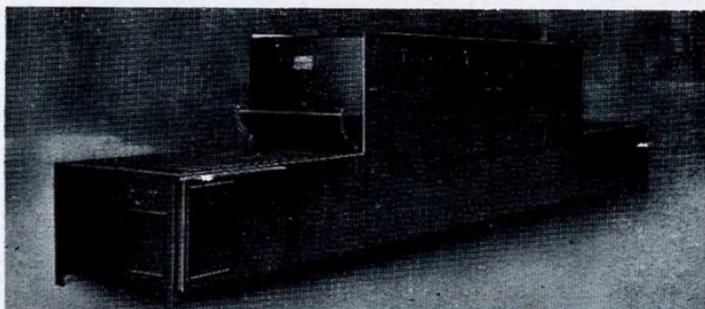
(Doc. S. E. P. S.)

Fig. 38. — Traitement de peinture sur pièces métalliques 60 lampes.



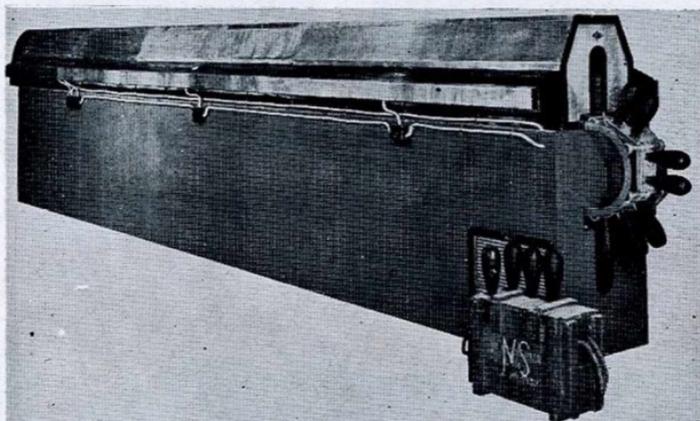
(Photo O. D. F., doc. Mazda.)

Fig. 39. — Séchage de vernis sur bandes d'aluminium 50 lampes.



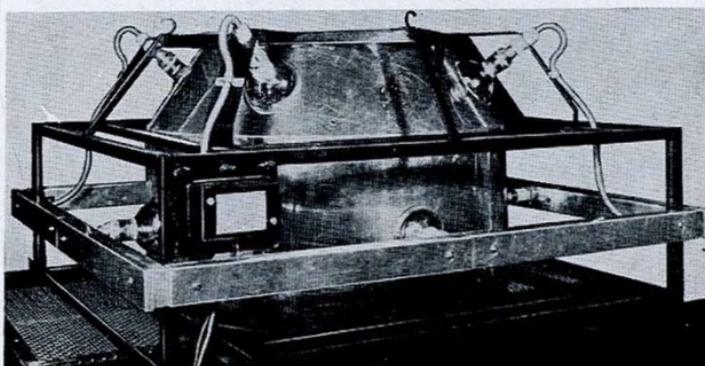
(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 40. — Traitement de peinture sur pièces d'appareils photographiques 90 lampes.



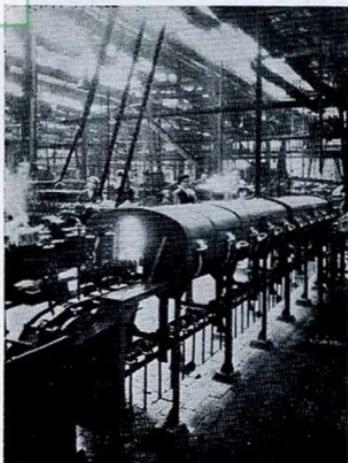
(Doc. S. E. C. I.)

Fig. 41. — Séchage de vernis à l'intérieur de projectiles 48 lampes.



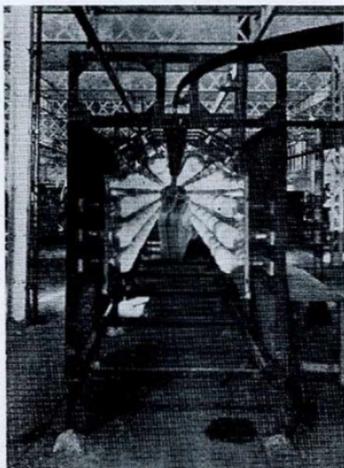
(Photo O. D. F., doc. S. M. A. T.)

Fig. 42. — Etuve-cloche pour traitement de peinture sur carters métalliques 8 lampes.



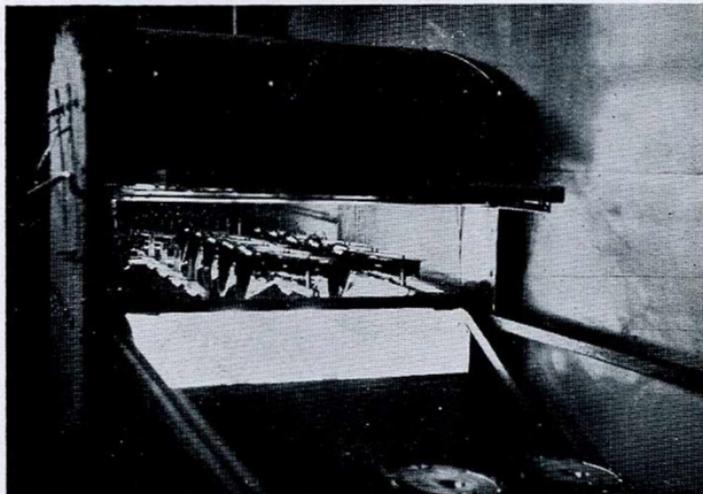
(Doc. Philips.)

Fig. 43. — Traitement de peinture sur munitions 36 lampes.



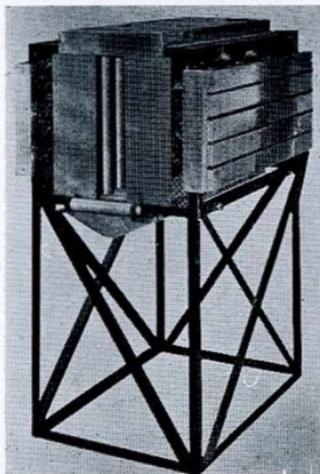
(Doc. Philips.)

Fig. 44. — Traitement de peinture sur bidons métalliques 240 lampes.



(Doc. Mazda.)

Fig. 45. — Traitement de peinture sur pièces métalliques 12 lampes.



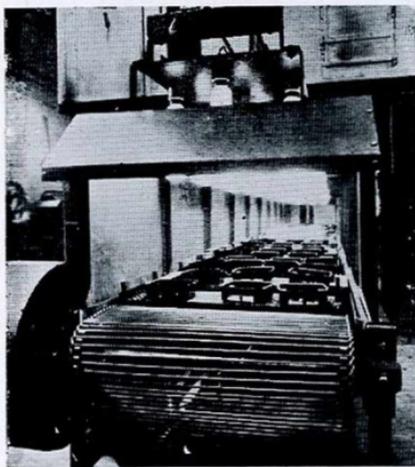
(Photo Boiron, doc. S.M.A.T.)

Fig. 46. — Séchage de métaux avant laminage 35 lampes.



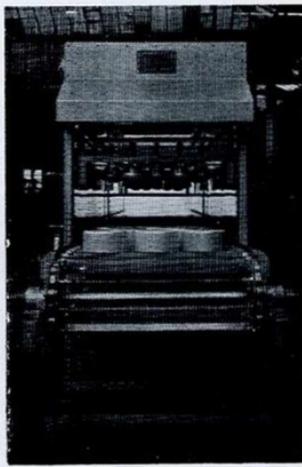
(Doc. S. E. C. I.)

Fig. 47. — Séchage de vernis sur extincteurs 32 lampes.



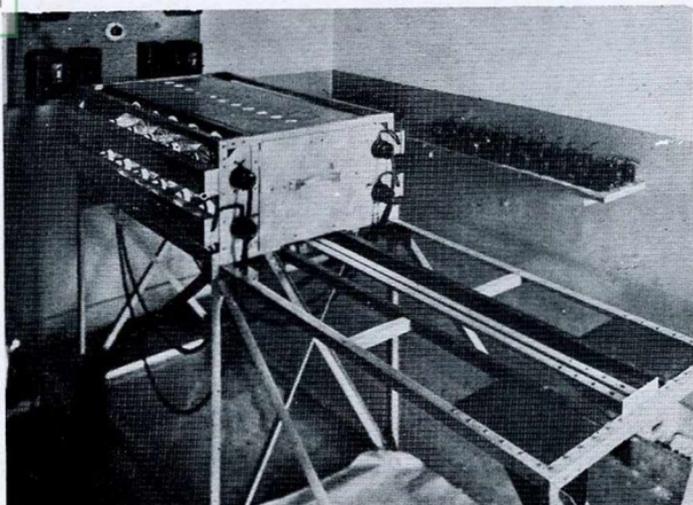
(Doc. Philips.)

Fig. 48. — Traitement de peintures sur capots métalliques 80 lampes.



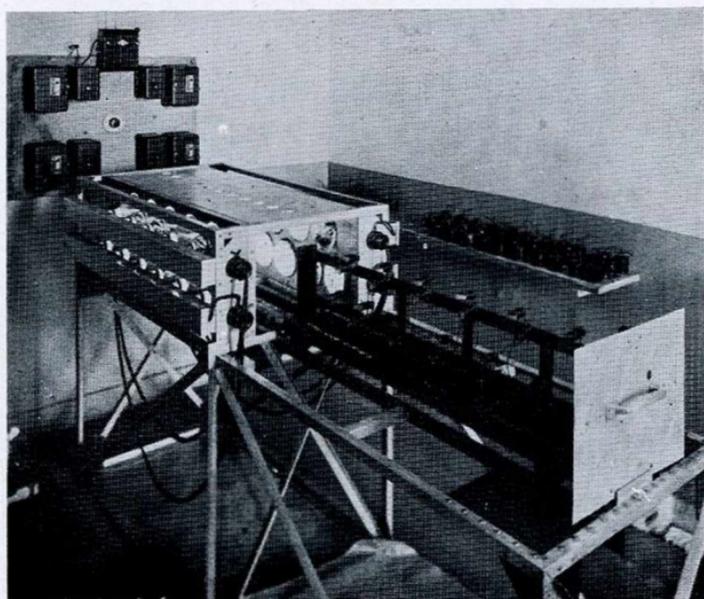
(Photo Chevojon, doc. Philips et Mabor).

Fig. 49. — Séchage de casseroles métalliques 51 lampes.



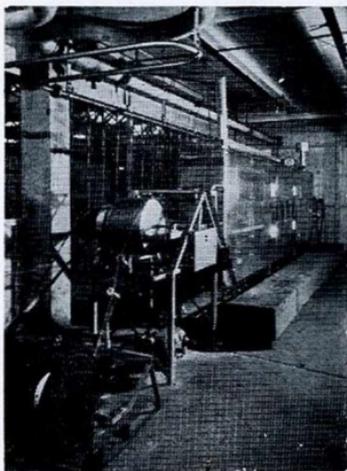
(Doc. S. M. A. T.)

Fig. 50. — Traitement de bobines électriques (position fermée de l'étuve)
24 lampes.



(Doc. S. M. A. T.)

Fig. 51. — Même étuve que fig. 50 (position ouverte).



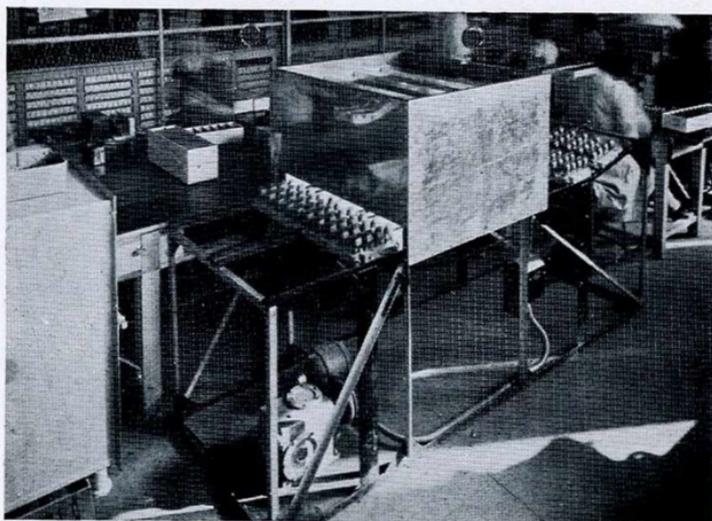
(Photo Chevojon, doc. Mazda.)



(Photo Boiron, doc. S. M. A. T.)

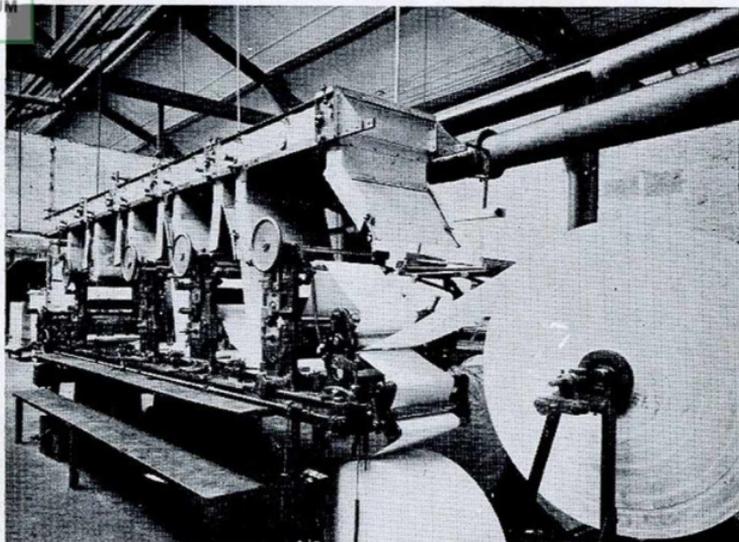
Fig. 52. — Séchage de fil électrique sous tresse coton vernie 32 lampes.

Fig. 53. — Séchage de bobinage pour l'industrie automobile 3 lampes.



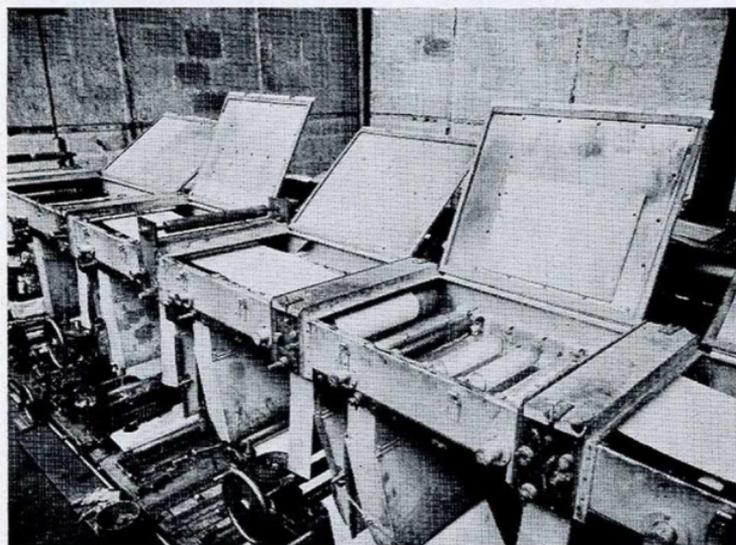
(Doc. Mazda.)

Fig. 54. — Séchage de relais téléphoniques 14 lampes.



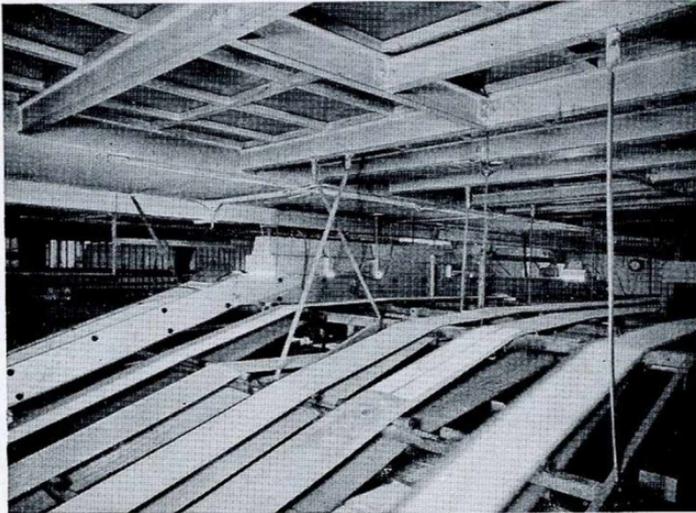
(Photo O. D. F., doc. Mazda et S. E. P. S.)

Fig. 55. — Séchage d'impression héliogravure 15 lampes cylindriques de 500 W.



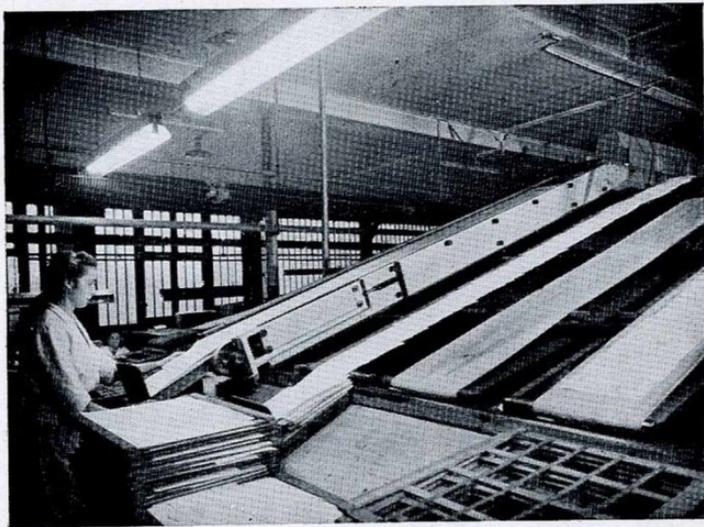
(Photo O. D. F., doc. Mazda et S. E. P. S.)

Fig. 56. — Même appareil que fig. 55.



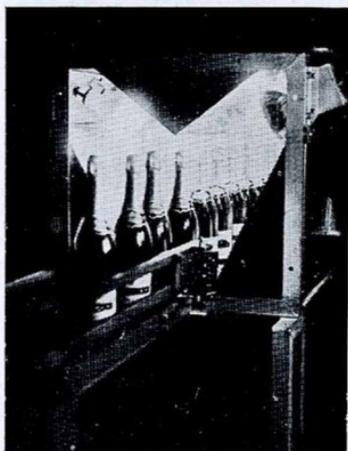
(Photo O. D. F., doc. Mazda et S. E. P. S.)

Fig. 57. — Séchage d'impression en timbrage-relief 20 lampes.



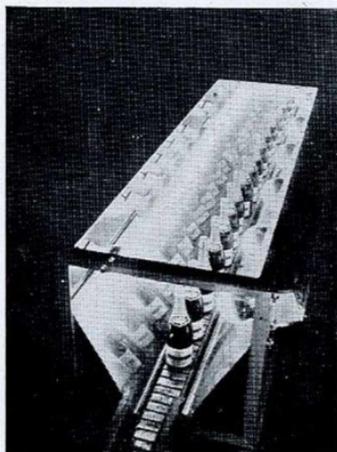
(Photo O. D. F., doc. Mazda et S. E. P. S.)

Fig. 58. — Même installation que fig. 57.



(Doc. Philips.)

Fig. 59. — Séchage de l'habillage et de l'étiquetage de bouteilles 45 lampes.



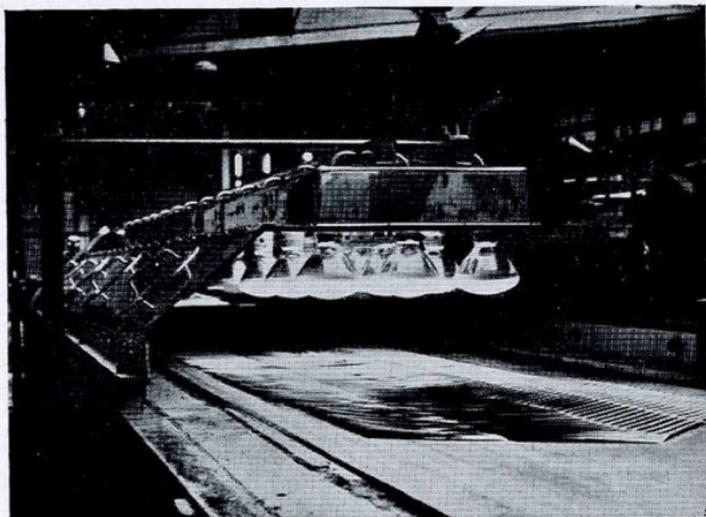
(Doc. Philips.)

Fig. 60. — Même étuve que fig. 59



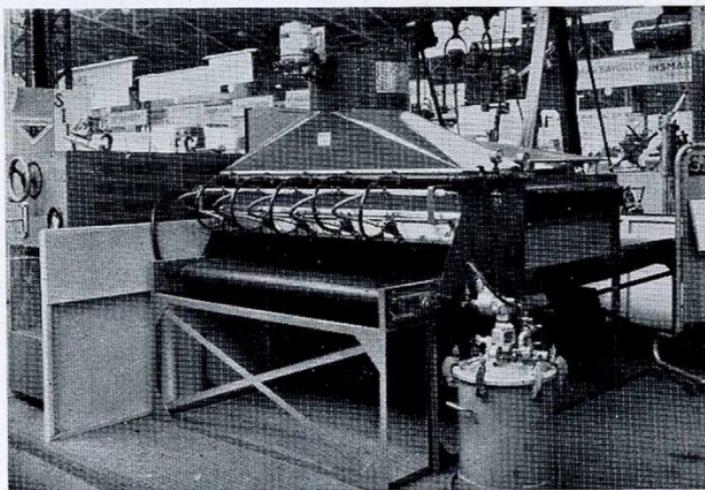
(Doc. Philips.)

Fig. 61. — Séchage d'étiquettes sur bouteilles 40 lampes.



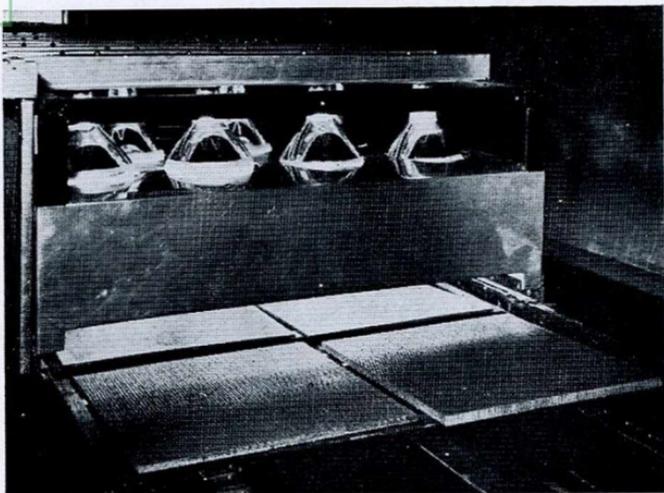
(Doc. Philips.)

Fig. 62. — Séchage de pattes gommées d'enveloppes 51 lampes.



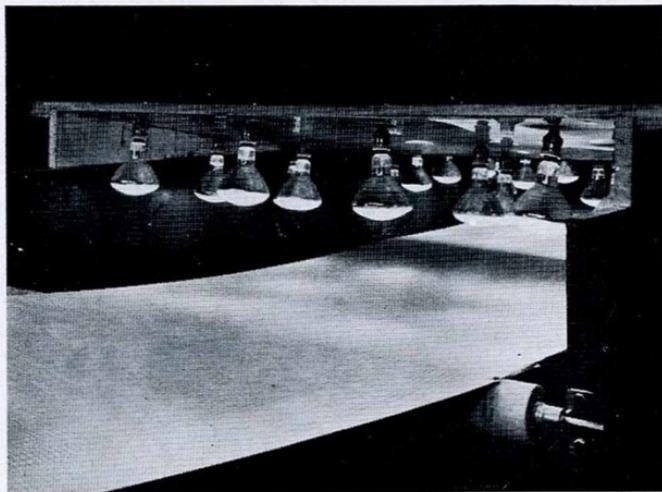
(Doc. S. M. A. T.)

Fig. 63. — Séchage de vernis sur carton après pistolage automatique 45 lampes.



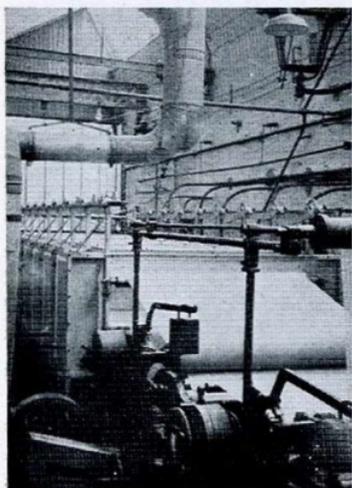
(Photo O. D. F., doc. Mazda.)

Fig. 64. — Séchage de peinture de distinction sur plaques Ferodo 104 lampes.

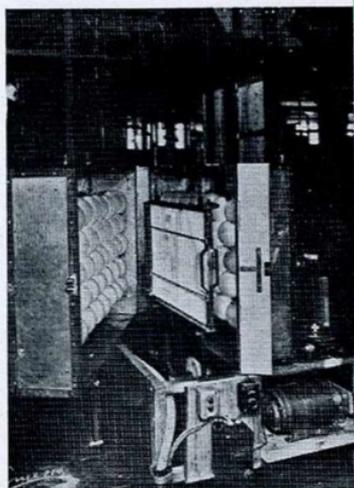


(Photo Boiron, doc. Visseaux.)

Fig. 65. — Séchage de tissu 50 lampes.



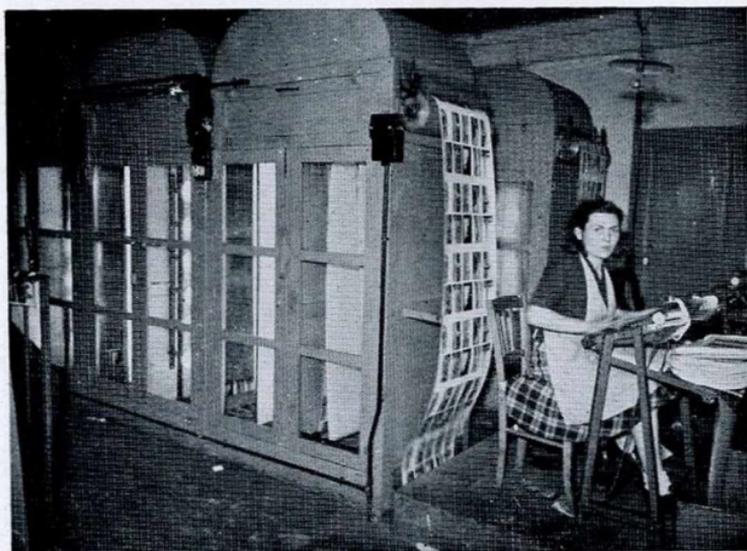
(Doc. Mazda et S. E. P. S.)



(Doc. Imp. de la Gironde.)

Fig. 66. — Encolleuse 520 lampes.

Fig. 67. — Séchage de flans 66 lampes.



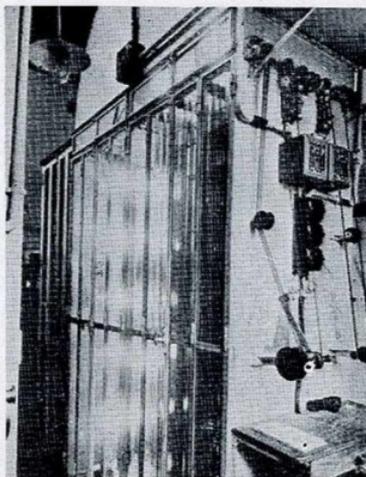
(Doc. Philips.)

Fig. 68. — Séchage de cartes postales après développement et rinçage 56 lampes.



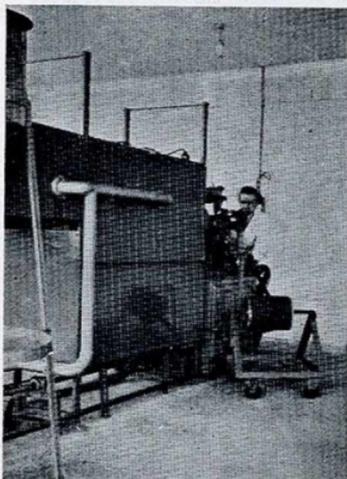
(Doc. Philips.)

Fig. 69. — Séchage de pellicules photographiques 4 lampes.



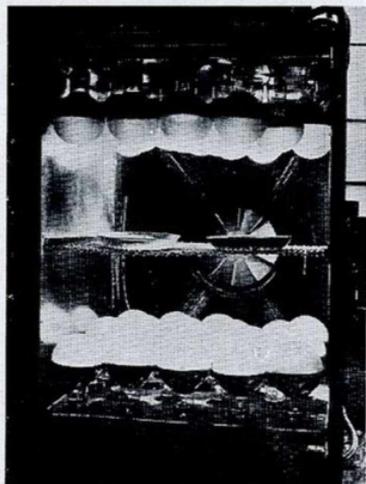
(Doc. Philips.)

Fig. 70. — Séchage de pellicules cinématographiques 10 lampes.



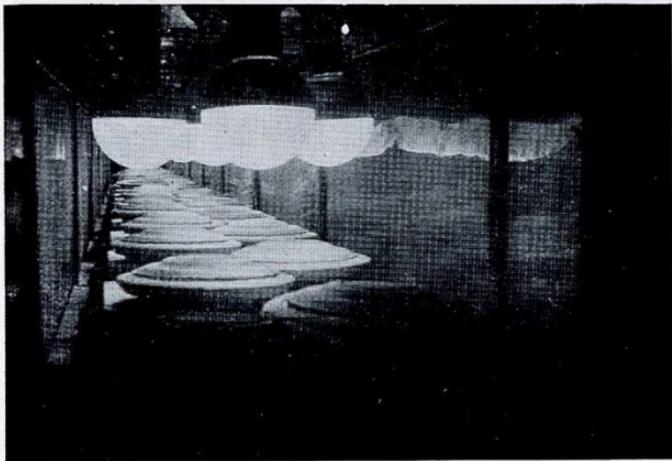
(Doc. Mazda, et S. E. P. S.)

Fig. 71. — Séchage d'enduction sur bandes de films magnétiques 16 lampes.



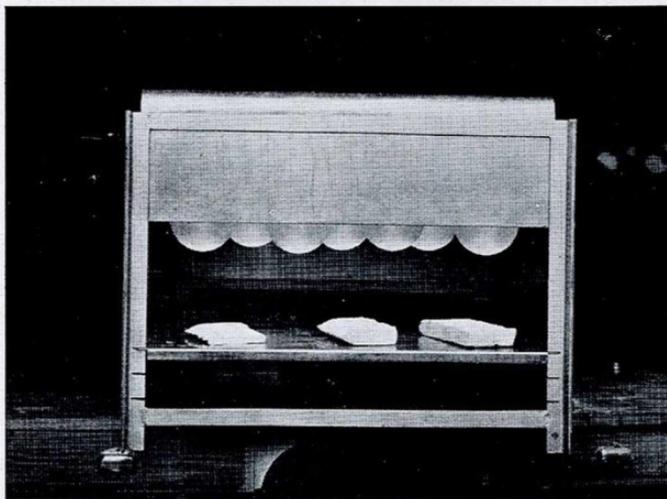
(Doc. S. E. C. I.)

Fig. 72. — Etuve de laboratoire pour céramique 46 lampes.



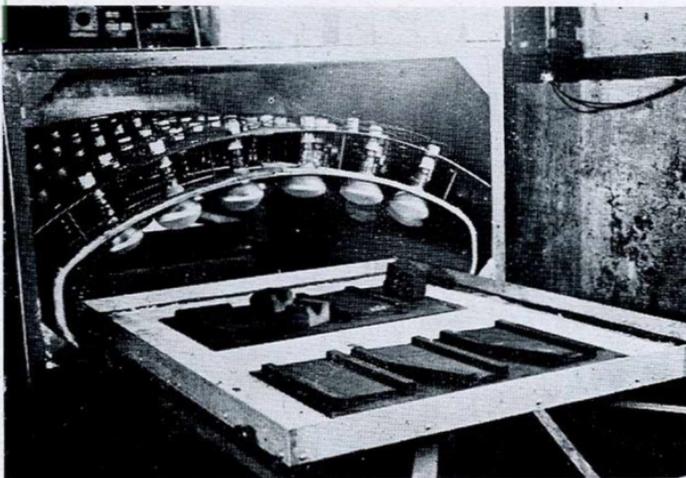
(Doc. Mazda.)

Fig. 73. — Séchage de faïence 50 lampes.



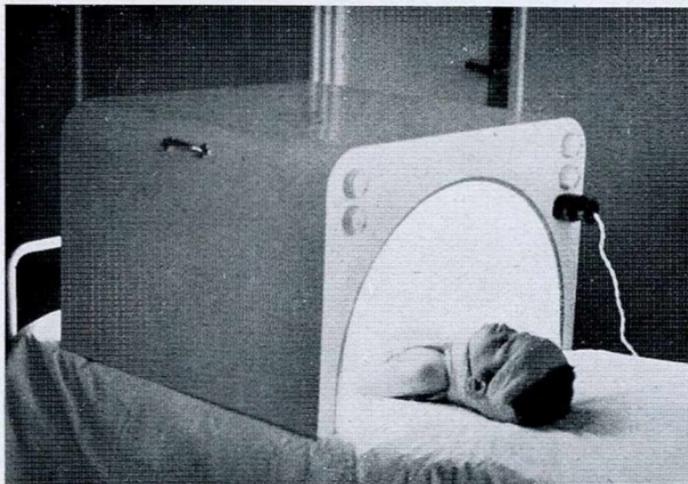
(Doc. S. E. C. I.)

Fig. 74. — Séchage de céramique 14 lampes.



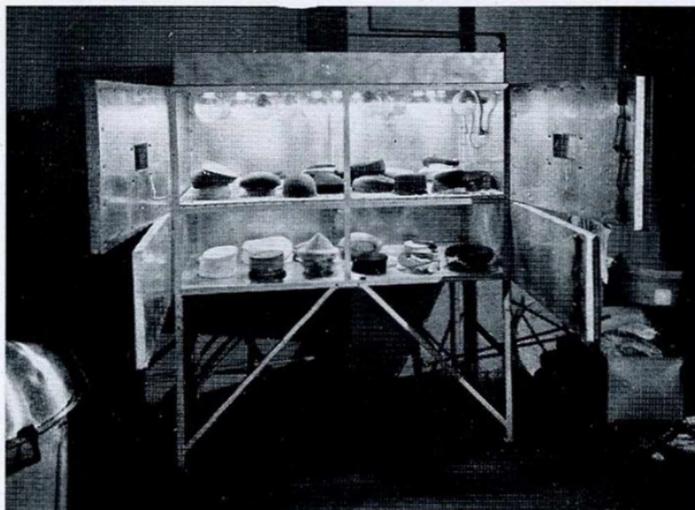
(Doc. Mazda.)

Fig. 75. — Séchage de noyaux de fonderie 65 lampes.



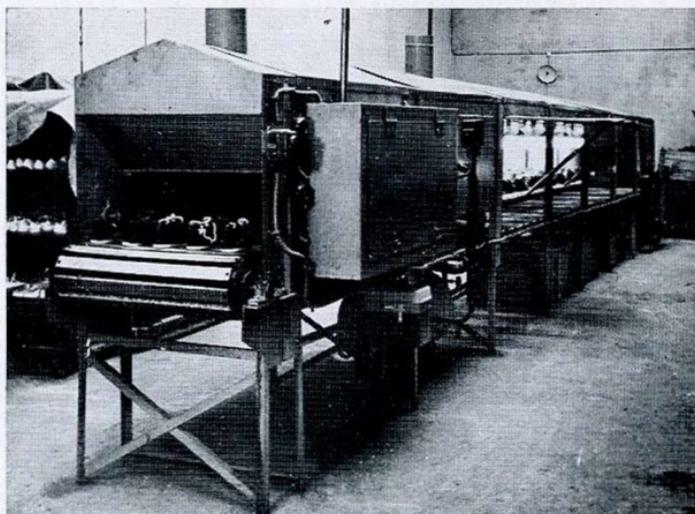
(Doc. Philips.)

Fig. 76. — Séchage de plâtre orthopédique 4 lampes.



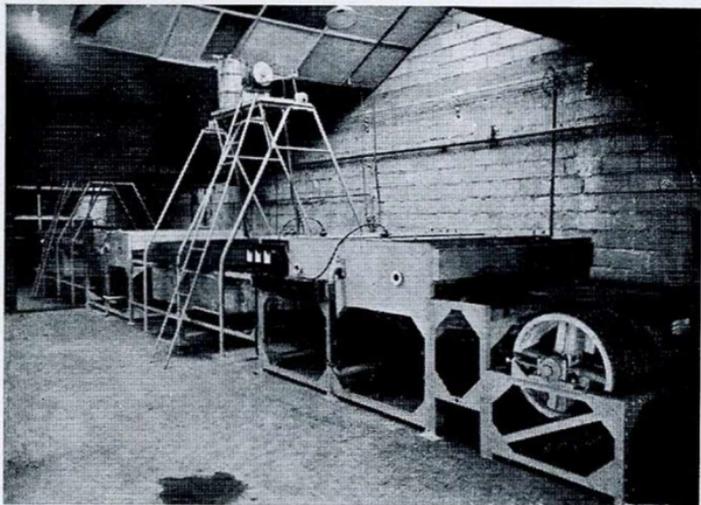
(Photo Boiron, doc. Mazda.)

Fig. 77. — Séchage de feutres de chapeaux 17 lampes.



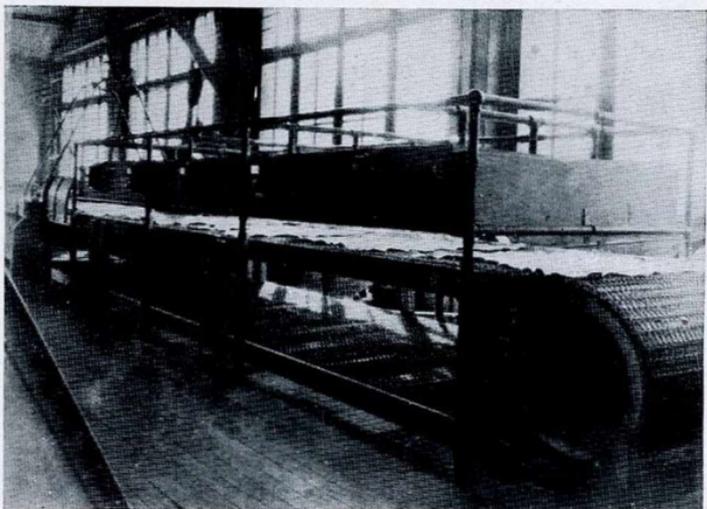
(Photo O. D. F., doc. Mazda et Guégan.)

Fig. 78. — Séchage de pantoufles 24 lampes.



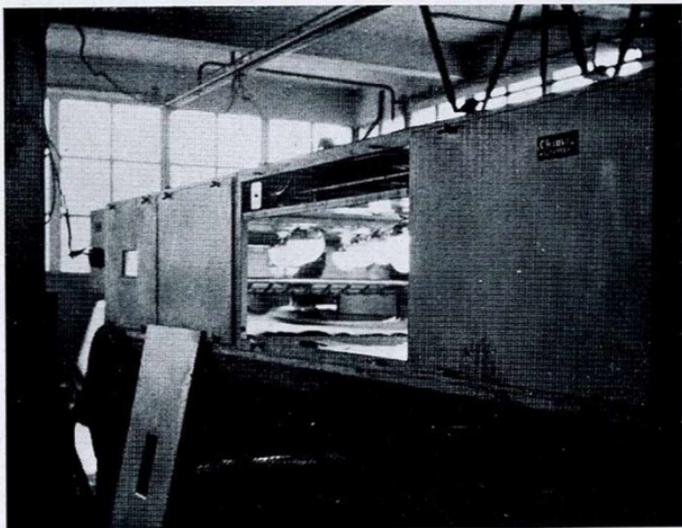
(Doc. Mazda et S. E. P. S.)

Fig. 79. — Séchage de vernis sur peaux 2×72 lampes.



(Doc. Philips.)

Fig. 80. — Séchage de vernis sur peaux 112 lampes.



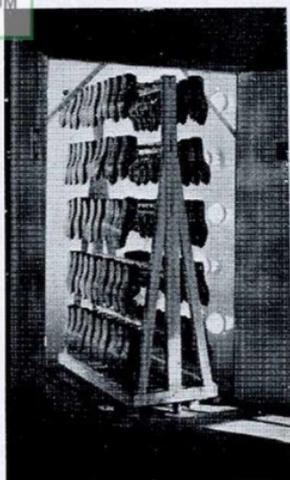
(Doc. Philips.)

Fig. 81. — Séchage de vernis sur peaux 120 lampes



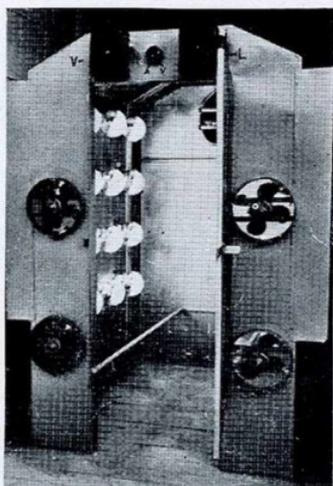
(Doc. Philips.)

Fig. 82. — Séchage de draperies après teinture 400 lampes



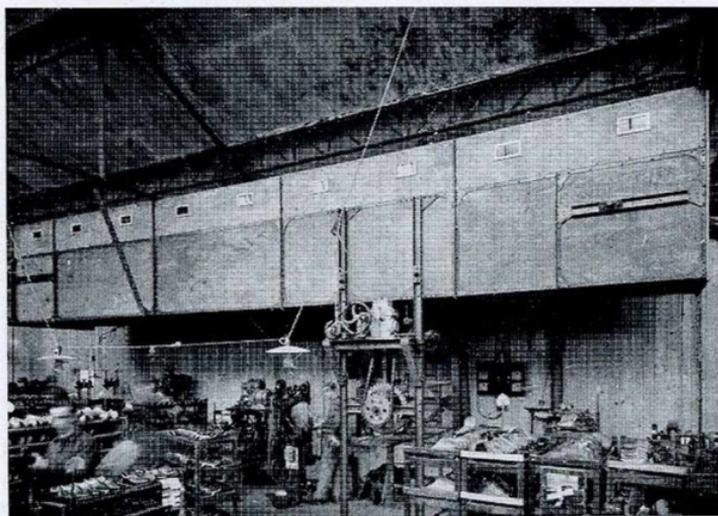
(Photo Blamart, doc. Mazda.)

Fig. 83. — Traitement de chaussures 36 lampes.



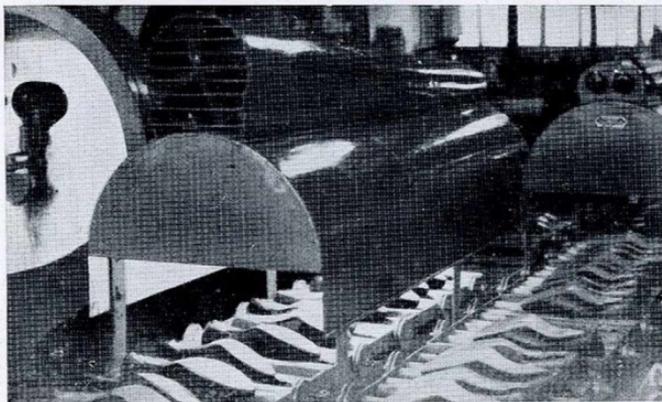
(Doc. Philips et Charvo.)

Fig. 84. — Traitement de chaussures 24 lampes.



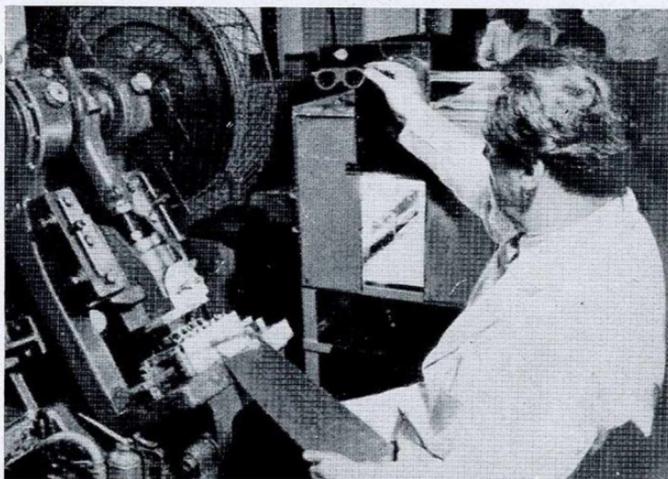
(Doc. Mazda et Guégan.)

Fig. 85. — Traitement des bouts durs de chaussures 80 lampes.



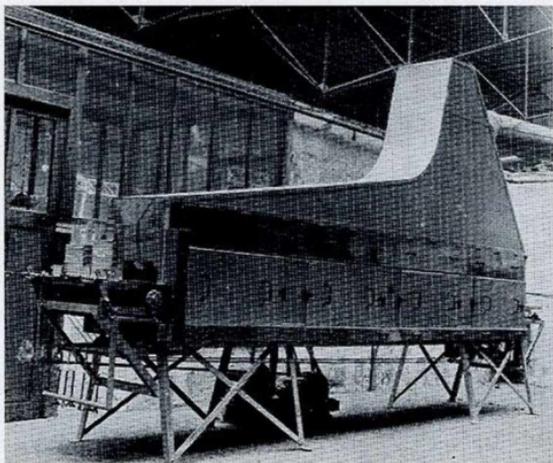
(Doc. Philips.)

Fig. 86. — Traitement de chaussures 9 lampes.



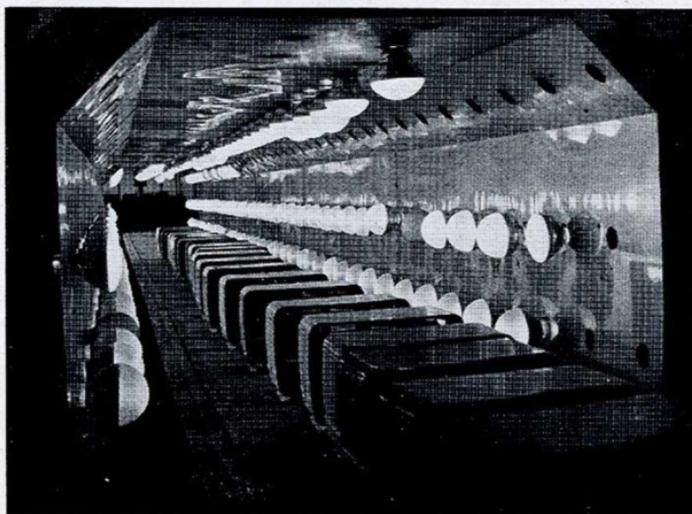
(Doc. Philips.)

Fig. 87. — Ramollissement de plastiques (montures de lunettes) 10 lampes.



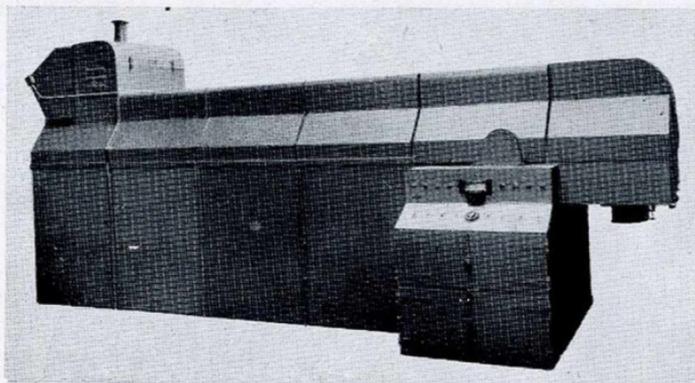
(Doc. Mazd)

Fig. 88. — Séchage de planchettes en bois 168 lampes.



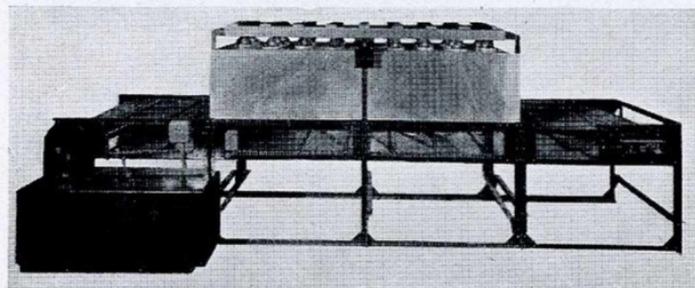
(Doc. O. D F.)

Fig. 89. — Traitement de vernis sur boîtiers en matières plastiques 160 lampes.



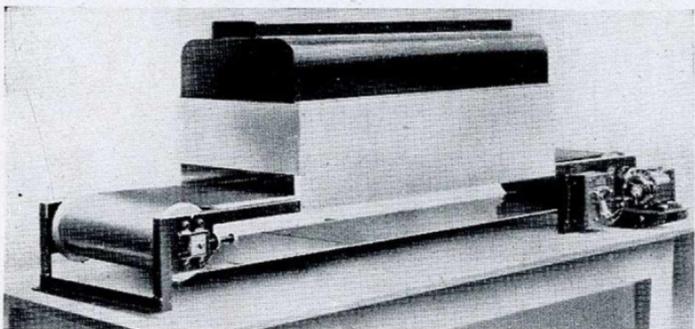
(Doc. S. E. C. I.)

Fig. 90. — Séchage de poudres explosives 80 lampes.



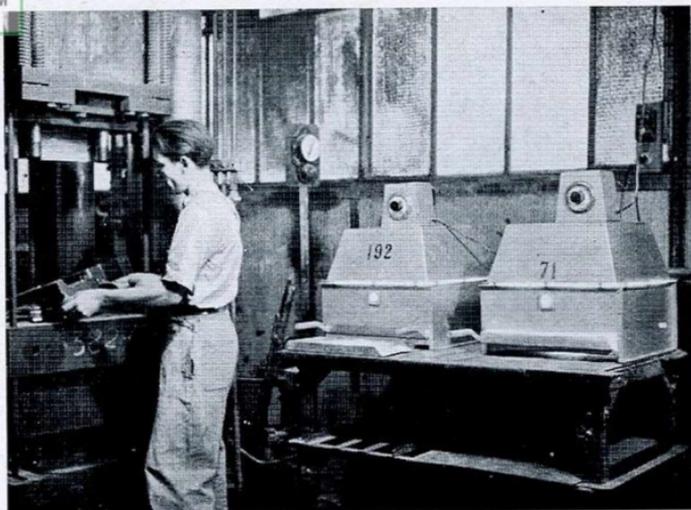
(Doc. S. M. A. T.)

Fig. 91. — Séchage d'encollages 22 lampes.



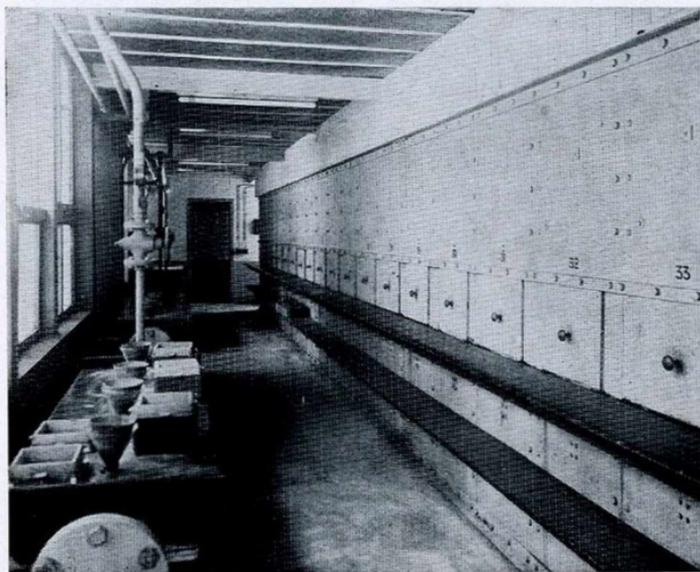
(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 92. — Traitements divers 17 lampes.



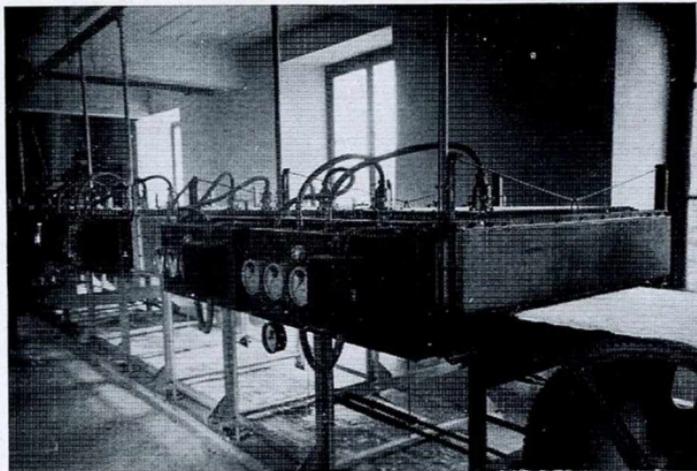
(Photo O. D. F., doc. Mazda.)

Fig. 93. — Séchage et préchauffage de poudres à mouler 6 lampes.



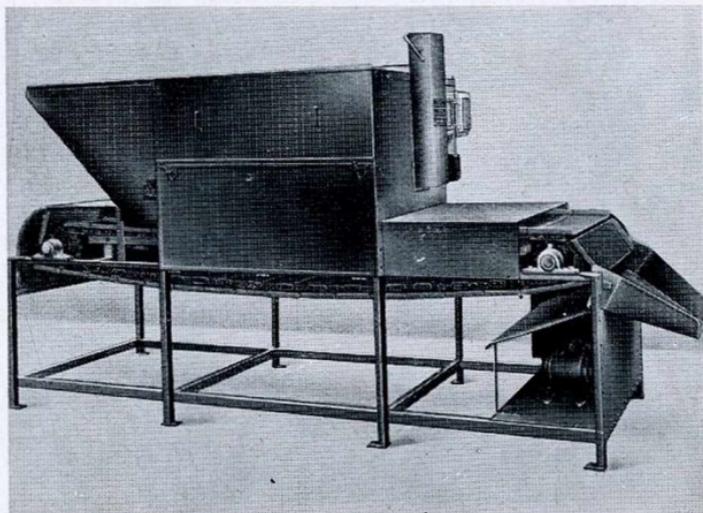
(Doc. Philips.)

Fig. 94. — Séchage de fulminate 20 lampes.



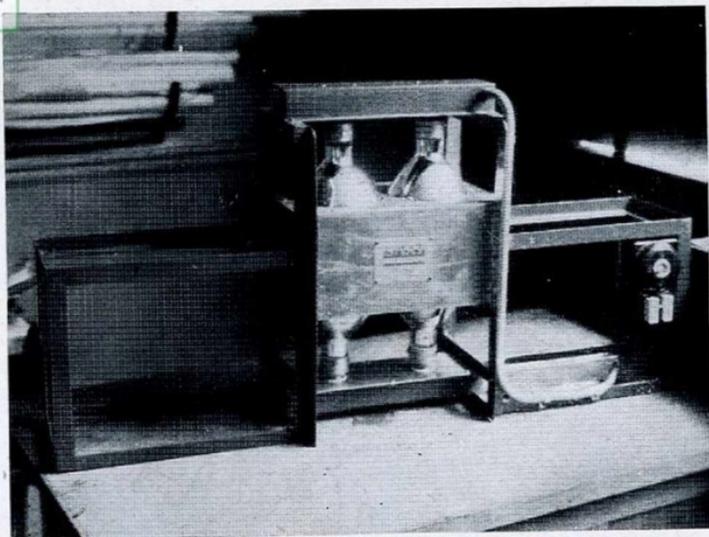
(Photo Fontanel, doc. S. E. P. S.)

Fig. 95. — Séchage de farine de froment 300 lampes.



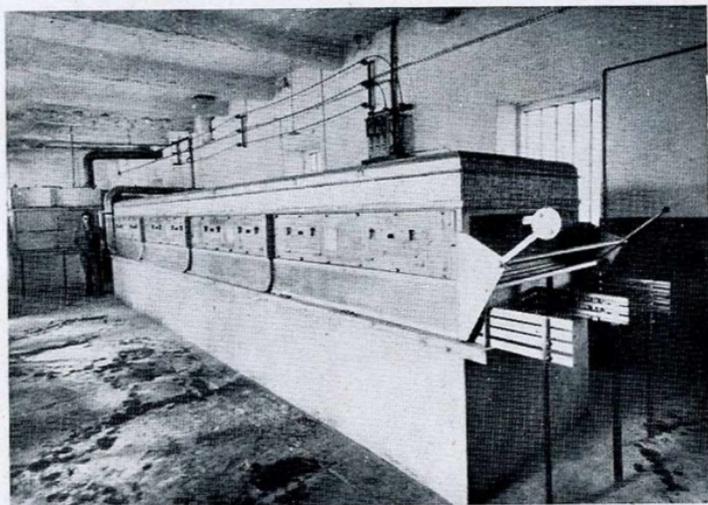
(Doc. Forges d'Audincourt.)

Fig. 96. — Séchage de produits en grains 40 lampes.



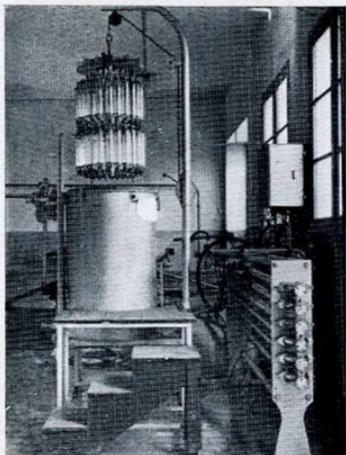
(Doct. S. M. A. T.)

Fig. 97. — Soudure de perles pour constructions électroniques 4 lampes de 375 W.



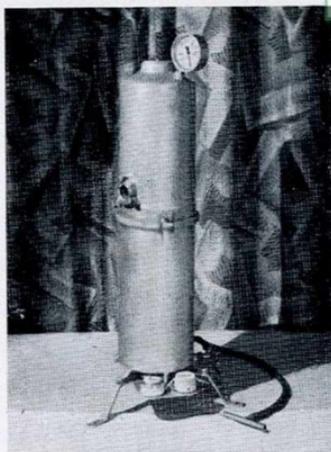
(Doct. S.E.U.R.E.M.)

Fig. 98. — Séchage et assainissement (destruction des parasites) des fruits
104 lampes.



(Photo O. D. F., doc. Mazda et S. E. P. S.)

**Fig. 99. — Pasteurisation du lait
48 lampes cylindriques de 750 W.**



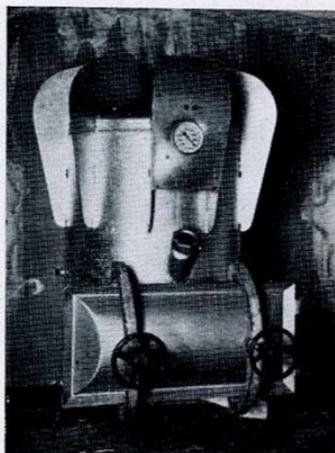
(Photo Boiron, doc. S. E. P. S.)

**Fig. 100. — Etuve de laboratoire pour
traitements sous vide 2 lampes.**



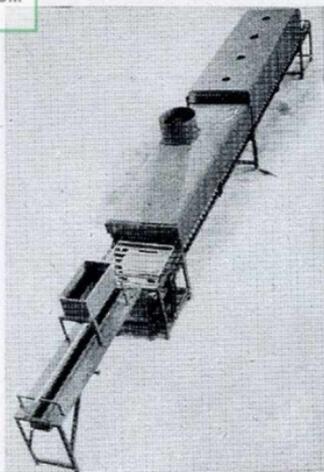
(Photo O. D. F., doc. Mazda et S. M. A. T.)

**Fig. 101. — Etuve sous vide 16 lampes
cylindriques de 100 W.**



(Doc. S. E. C. I.)

**Fig. 102. — Etuve sous vide. Séchage de
produits hopothérapiques 4 lampes.**



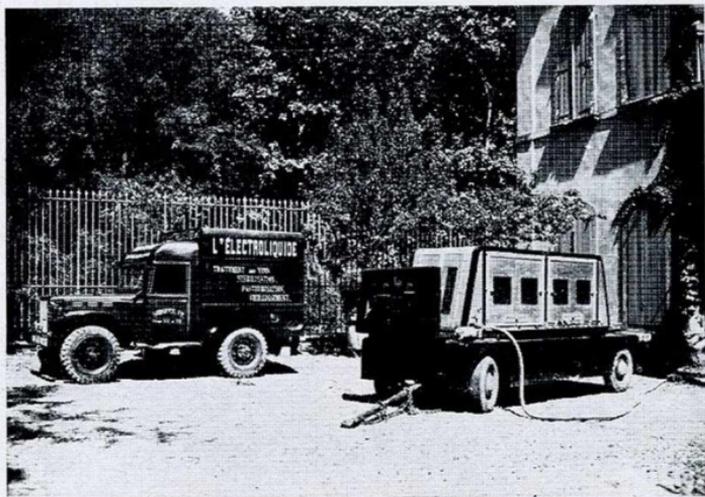
(Doc. Philips.)

Fig. 103. — Séchage et cuisson des sardines 200 lampes.



(Doc. Philips.)

Fig. 104. — Même installation que fig. 103.



(Doc. Mazda, et S.E.U.R.E.M.)

Fig. 105. — Traitement des jus de fruits, vins et alcools 100 lampes

Liste des brochures A.P.E.L. sur les applications de l'électricité

Titre	Auteur	Nombre de pages	Observations
<i>Les alliages modernes et leur traitement thermique</i>	APEL	24	
<i>L'électricité, auxiliaire précieux du céramiste</i>	R. GAUTHERET	18	
<i>L'électricité dans la minoterie</i>	ROODE	16	épuisé
<i>L'électricité dans les cimenteries</i>	H. YOKEL	34	épuisé
<i>L'électricité dans l'imprimerie</i>	HISCHAMNN	36	épuisé
<i>L'électricité en émaillerie</i>	R. GAUTHERET	63	épuisé
<i>Le moteur électrique dans l'industrie du bois</i>	GIROUD	18	épuisé
<i>Les applications du chauffage électrique en galvanisation</i>	ETIENNE	16	épuisé
<i>L'électricité dans la fabrication des produits pharmaceutiques</i>	R. GAUTHERET	46	épuisé
<i>L'électricité dans la bonneterie</i>	G. THONNAT	44	
<i>Avaries pouvant survenir aux moteurs électriques</i>	A. GIROUD	12	
<i>L'électricité dans les petits ateliers de nickelage</i>	R. GAUTHERET	84	2 ^e éd.
<i>Les résistances métalliques</i>	R. GAUTHERET	37	épuisé
<i>L'électricité dans la brasserie</i>	DESFORGES et MASCART	44	
<i>Les résistances non métalliques et leurs applications</i>	R. GAUTHERET	47	épuisé
<i>Les éléments protégés et leurs applications</i>	R. GAUTHERET	41	épuisé
<i>Les redresseurs secs et leurs applications industrielles</i>	LEBLANC	52	épuisé

(Suite page 70.) ◊

Liste des brochures A. P. E. L. (suite de la page 69)

Titre	Auteur	Nombre de pages	Observations
<i>L'électricité dans les industries de protection des métaux contre la corrosion et l'usure</i>	R. GAUTHERET	56	épuisé
<i>Les fours électriques à bain de sels à électrodes</i>	R. GAUTHERET	48	
<i>Les fours électriques à résistances</i> ..	R. GAUTHERET	50	épuisé
<i>Les différents types de fours à résistances</i>	R. GAUTHERET	75	épuisé
<i>Comment choisir et commander un four à résistances</i>	R. GAUTHERET	64	épuisé
<i>Comment installer, réceptionner, utiliser un four à résistances</i> ...	R. GAUTHERET	40	épuisé
<i>L'électricité dans l'industrie des matières plastiques</i>	PIARD	28	
<i>L'amélioration du facteur de puissance dans les installations industrielles</i>	R. GAUTHERET	80	3 ^e éd.
<i>Les machines à chauffer électriques par résistance et leurs applications industrielles</i>	D. BIDAUX	46	épuisé
<i>Les étuves électriques et leurs applications industrielles</i>	L. TILLAUD	37	
<i>Les appareils thermostatiques</i> ...	J. LELY	58	
<i>Le séchage artificiel des fourrages</i> ..	Th. TOURNIER	25	
<i>L'électricité dans une grande usine de produits alimentaires</i>	R. GAUTHERET	47	épuisé
<i>Les fours électriques à arc</i>	DÉRIBÉRE	67	
<i>La soudure électrique à l'arc et ses applications industrielles</i> ..	SAELLES	74	
<i>Les fours électriques à induction</i> ..	MINSSIEUX	80	

(Suite page 71.)

Liste des brochures A. P. E. L. (Suite de la page 70)

Titre	Auteur	Nombre de pages	Observations
<i>Les différents modes de chauffage électrique</i>	R. GAUTHERET	100	
<i>Mémento du chauffage électrique</i> .	R. GAUTHERET et TH. TOURNIER	244	3 vol.
<i>Les fours électriques de céramique.</i>	R. GAUTHERET	80	
<i>Le brasage électrique</i>	R. GAUTHERET	72	
Brochures en cours d'impression			
<i>Le chauffage électrique par induction à haute fréquence</i>	R. GAUTHERET		
<i>L'électricité dans les industries du bois</i>	J. COLLARDET, M. WILFART, J. BESSET et R. GAUTHERET.		



XXXIX-12-50

La Société pour le Développement des Applications de l'Electricité APEL a pour objet l'amélioration et la vulgarisation des appareils électriques d'applications diverses.

Pour toute étude et renseignements techniques,
s'adresser : 33, rue de Naples — PARIS (8^e)