

# 8 *et* **INGÉNIEURS TECHNICIENS**

*REVUE MENSUELLE DES PROGRÈS TECHNIQUES DANS L'INDUSTRIE*

## **DANS CE NUMÉRO :**

APPLICATIONS DES JAUCES D'EFFORT  
AUX MESURES MÉCANIQUES

★

TECHNIQUES MODERNES  
D'UTILISATION DU BOIS

★

CHAUFFAGE PAR RÉISTANCES  
ÉLECTRIQUES BLINDÉES

★

UNE SYNTHÈSE MODERNE  
DU TOUR PARALLÈLE

★

THERMOPLASTIQUES

★

NOUVEAU PROCÉDÉ  
DE PLASTIFICATION  
DU CHLORURE DE POLYVINYLE

★

POMPAGE DES HYDROCARBURES  
LOURDS

★

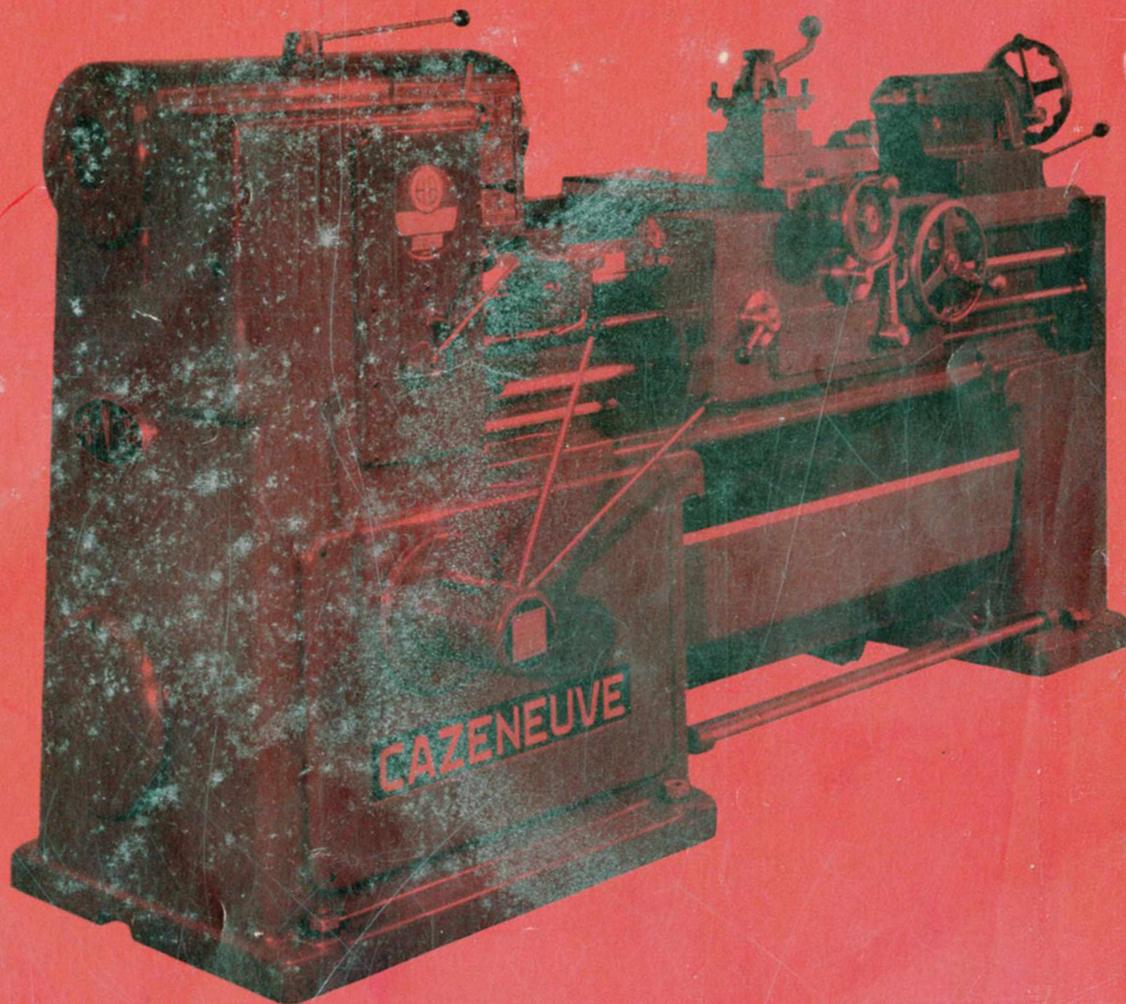
COUPE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

★

DU DÉFAUT DE NOUVEAUTÉ  
EN MATIÈRE DE BREVET

★

ETC...



Tour H. B.  
des Établissements CAZENEUVE.

1949  
JUILLET

N° 13  
NOUVELLE SÉRIE

100



# Le Chauffage par Résistances électriques blindées

par Pierre HELLER

*Des alliages de résistance électrique élevée présentant de bonnes propriétés mécaniques, des isolants électriques bons conducteurs de la chaleur et des gaines métalliques résistant bien à l'oxydation permettent aujourd'hui de faire bénéficier la presque totalité des industries des nombreux avantages de l'électricité appliquée au chauffage des liquides, des solides et des gaz.*

Dans tous les domaines d'applications, et particulièrement en chauffage industriel, les avantages techniques et pratiques de l'énergie électrique sur les autres sources d'énergie ne sont plus à démontrer. Outre l'absence de fumées, de gaz nocifs, d'odeurs, de poussières, de résidus de combustion, de bruit, l'emploi des conducteurs électriques « sous tension » est loin de présenter les mêmes servitudes que des conduites « sous pression » de gaz de houille, de pétrole ou de vapeur, et cela tant au point de vue de l'installation de l'équipement que de son utilisation.

La prépondérance qui doit être accordée, dans les installations industrielles, aux questions d'hygiène et de sécurité, sur tous les autres facteurs susceptibles d'influencer la production — sans négliger pour autant le bilan thermique — parle également en faveur de l'énergie électrique.

En plus des avantages déjà signalés et qui appartiennent en propre à l'emploi de l'électricité en général, il y a lieu d'ajouter, lorsqu'il s'agit d'applications thermiques, d'une part, le moindre encombrement des canalisations amenant les calories en puissance — surtout par comparaison avec des conduites de vapeurs, nécessairement calorifugés —, d'autre part, les très grandes possibilités d'adaptation en raison des facilités de réglage, dont on peut jouer à tous moments avec une précision rigoureuse. L'absence de flamme est le plus souvent d'un intérêt appréciable.

Enfin, autre avantage qui n'est pas le moindre, c'est avec une remarquable facilité que la transmission des calories en puissance dans un conducteur d'électricité peut s'effectuer, au choix, soit par rayonnement, soit par conduction, ou encore par convection, suivant le milieu et la nature du « récepteur ». Notons toutefois que cette distinction est quelque peu arbitraire. En réalité, les trois modes de transmission agissent simultanément, mais de façon plus ou moins directe, et la définition du mode de chauffage s'applique à celui qui se manifeste avec le plus d'ampleur. Dans de très nombreux cas, correspondant à des applications nouvelles, la recherche du rendement optimum, pour l'effet utile désigné, doit précisément tenir compte de l'éventuelle manifestation des différents phénomènes, capable de favoriser ou de perturber la transmission de la chaleur.

C'est pourquoi, surtout pour les applications industrielles, le problème doit être posé avec le maximum de précision.

S'il est relativement aisé de déterminer les caractéristiques d'un élément chauffant, la réalisation exige beaucoup plus de soins qu'on en donne habituellement, dans les ateliers ou les laboratoires, où l'on a une fâcheuse tendance à considérer qu'un bout de nickel-chrome, entortillé sur une stéatite ou un mica, le tout plus ou moins bien protégé par une gaine en ferraille, réalise une résistance chauffante.

En fait, l'obtention d'une température prédéterminée, sur

une surface ou dans un volume donné, doit nécessairement tenir compte, en premier lieu, des caractéristiques physico-chimiques et dimensionnelles de l'objet que l'on se propose de chauffer. Il est indispensable de choisir, en fonction de ces caractéristiques, le mode de chauffage qui est, à la fois, le mieux approprié techniquement et le plus indiqué économiquement, et de tenir compte, pour satisfaire cette dernière condition, de l'inéluctable émission de chaleur par l'objet chauffé.

## CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT

Le dispositif le plus simple et le plus aisé à réaliser, *a priori*, est celui du chauffage par rayonnement à l'aide de conducteurs nus, sous tension, de composition et de section appropriées. A cet effet, les métallurgistes ont mis au point des alliages pour lesquels, tenant compte de la nécessité de travailler à des températures élevées, on a cherché à réunir, d'une part, la possibilité d'atteindre ces hautes températures sans dégradation appréciable et, d'autre part, des caractéristiques mécaniques intéressantes; mais, surtout, aussi invariables que possible avec la température.

Indépendamment des caractéristiques thermo-mécaniques, le choix de l'alliage pour résistance doit tenir compte des conditions d'emploi, c'est-à-dire du milieu dans lequel l'élément chauffant est appelé à travailler et des possibilités d'interaction d'ordre chimique entre l'élément chauffant et le milieu chauffé. C'est pourquoi un compromis est parfois nécessaire entre le choix d'un alliage résistant, offrant les meilleures caractéristiques thermo-mécaniques, et l'acceptation d'un autre, moins favorisé à cet égard, mais s'accommodant mieux des compositions particulières de l'atmosphère régnant dans le milieu de travail et pouvant varier pendant la durée du traitement.

Pour conserver un rendement intéressant, il est nécessaire de circonscrire ce rayonnement, ce qui limite quelque peu les emplois; au surplus, la présence d'une source de chaleur, sous forme d'un conducteur nu sous tension, plus ou moins directement accessible, n'est pas toujours une solution acceptable, aussi bien pour des motifs techniques que pour des raisons de sécurité. Pour tourner cette difficulté, on a recours à l'artifice du « blindage ».

## CHAUFFAGE PAR CONDUCTION OU CONVECTION AU MOYEN DE « RÉSISTANCES BLINDÉES »

Tout en conservant le principe de l'effet Joule, le « blindage » a pour objet de soustraire le milieu solide, liquide ou gazeux, entourant le conducteur sous tension, aux



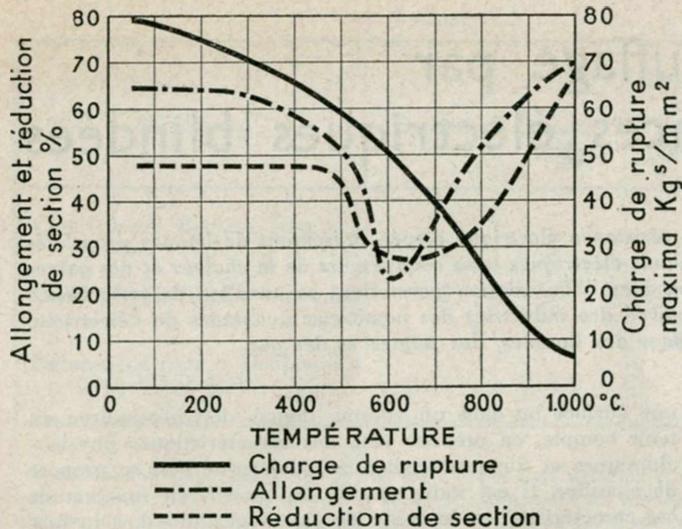


FIG. 1. — Propriétés mécaniques de l'alliage nickel-chrome 80/20 aux hautes températures.

effets des phénomènes électriques. Autrement dit, il s'agit de réaliser la double condition d'un isolement électrique par un dispositif à grande perméabilité thermique.

Parallèlement, il est d'un grand intérêt, dans la plupart des cas, de soustraire également l'élément spécifiquement chauffant à l'action chimique des agents extérieurs qui, plus ou moins rapidement, sont susceptibles de modifier ses caractéristiques et d'en altérer, par suite, ses qualités.

Pendant une longue période, et actuellement encore pour certaines applications, on a constitué des éléments chauffants blindés en se contentant, soit de disposer convenablement un conducteur « résistant » entre des plaques ou feuilles d'un produit réfractaire et de rigidité diélectrique suffisamment grande (du mica, par exemple), soit de monter un fil résistant, généralement boudiné, dans des gorges spécialement ménagées à cet effet à la surface d'un support usiné ou moulé. Dans les deux cas, le « blindage » est simplement constitué par une enveloppe métallique serrant aussi étroitement que possible la première partie du dispositif. De tels éléments ne peuvent satisfaire qu'un nombre limité d'exigences.

Dans les applications industrielles, on leur préfère donc des éléments chauffants, dans lesquels la partie active est en quelque sorte noyée dans un produit réfractaire fortement comprimé, maintenu dans une gaine métallique hermétique. Evidemment, il y a toujours intérêt à ce que le fil chauffant soit de la meilleure qualité possible. Le plus indiqué est assurément, dans l'état actuel des réalisations métallurgiques, le nickel-chrome 80/20. Quant au réfractaire, organe intermédiaire de transmission des calories dégagées par le fil mis sous tension, il importe que, même à haute température, il conserve une rigidité diélectrique aussi élevée que possible. Jusqu'à ce jour, le produit donnant le maximum de satisfaction à cet égard est la magnésie électro-fondue, fabriquée maintenant en France.

### Chauffage des liquides

En choisissant convenablement le métal de la gaine, le chauffage des liquides, dans la masse, s'effectue communément à l'aide d'éléments blindés, tubulaires, d'environ 10 mm de diamètre. La longueur immergée de l'élément est fonction, à la fois du nombre de calories à fournir, des dimensions du récipient et de la « densité de puissance » admissible, compte tenu des possibilités de réalisation de l'élément

En ce qui concerne la gaine, elle doit, elle aussi, satisfaire à de nombreuses conditions, en particulier demeurer parfaitement étanche — indépendamment des précautions élémentaires de construction de l'élément — et résister à l'oxydation. Beaucoup d'utilisateurs semblent ne pas attacher suffisamment d'importance à cette dernière condition, cependant essentielle, même lorsqu'il s'agit d'éléments travaillant dans l'air ou dans un milieu considéré *a priori* comme non corrosif.

On conçoit déjà bien, en effet, que toute porosité relative, à chaud, dans la gaine, risque de faciliter le passage des fluides en contact avec l'élément et, par suite, de détruire le parfait isolement qui doit être maintenu rigoureusement. Mais, au surplus, tout oxyde se formant sur la gaine diffuse peu à peu dans le réfractaire, détruisant l'isolement; des arcs peuvent s'amorcer, entraînant la destruction de l'élément. Pour pallier ces risques, d'une façon durable, les gaines doivent être réalisées, de préférence, en alliages tels que le « Monel » ou l'acier inoxydable « 18/8 », lequel présente, en outre, l'avantage de bien résister aux efforts mécaniques. Lorsqu'il y a nécessité ou intérêt de travailler à des tempé-

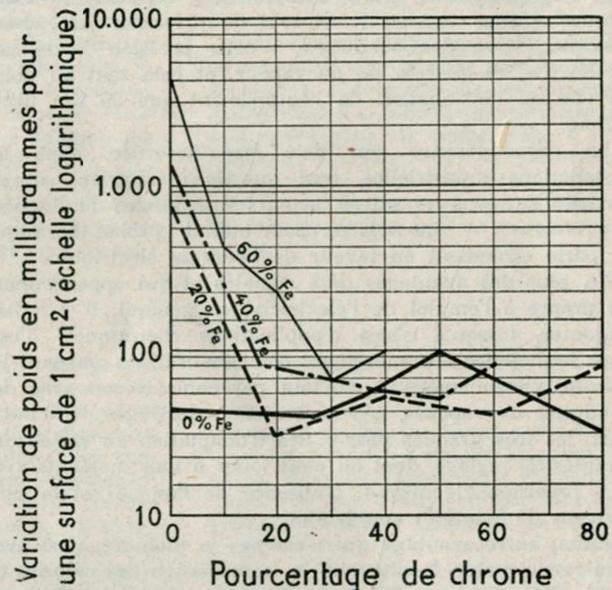


FIG. 2. — Taux d'oxydation d'alliages nickel-chrome-fer exposés pendant 20 heures à l'action de l'air et à la température de 1000°C (oxydes éliminés par brossage après chaque essai).

ratures élevées, l'« Inconel », métal austénitique à point de fusion élevé (1390°), s'impose.

Toutefois, un compromis est parfois nécessaire pour tenir compte des risques particuliers de corrosion spécialement active ou d'interaction possible entre le métal de la gaine et le milieu dans lequel est situé l'élément. Les cas les plus fréquents d'acceptation de compromis se présentent pour le chauffage des liquides, plus intéressant à réaliser, d'une façon générale, directement dans la masse, qu'indirectement par chauffage du récipient

et des caractéristiques du liquide (conductibilité thermique). Le nombre des calories à fournir est fonction des écarts de température à réaliser et de la quantité de liquide à échauffer. La « puissance » de l'élément est, en outre, déterminée par le facteur « temps » : bien que l'énergie à fournir soit évidemment une valeur indépendante du temps, la rapidité du chauffage est néanmoins un facteur très important;



mais il va de soi que l'on peut être contraint de réduire la puissance de l'élément pour tenir compte des conditions de l'installation électrique et des dimensions excessives qu'il faudrait consentir à l'élément. Il convient, en effet, de limiter la « densité de puissance » de celui-ci afin de garantir sa longévité.

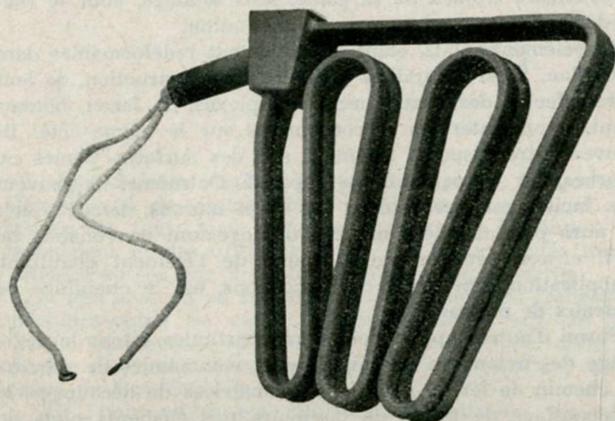


FIG. 3. — Élément blindé « Rubanox » pour chauffage d'huile; résistance en nickel-chrome, gaine en acier inoxydable.

Pour tenir compte de l'encombrement, ainsi que de la forme des récipients, on peut donner aux éléments chauffants blindés des aspects très divers. Cependant, la forme la plus courante est celle d'une épingle de sûreté, simple, double ou triple, qui permet de réaliser un grand développement et de fournir, par suite, une puissance relativement importante avec un faible encombrement. Pour la plus grande efficacité, ces éléments doivent être disposés horizontalement dans le fond des récipients. Un dispositif étanche de fixation permet l'introduction de l'élément, soit par le haut du récipient, soit par une ouverture ménagée à sa base dans cette intention.

Un progrès récent semble avoir été apporté, en France, par la réalisation d'une gaine de section ovoïde, dans laquelle se développe le circuit complet constituant un élément. Autrement dit, la même gaine contient l'« aller » et le

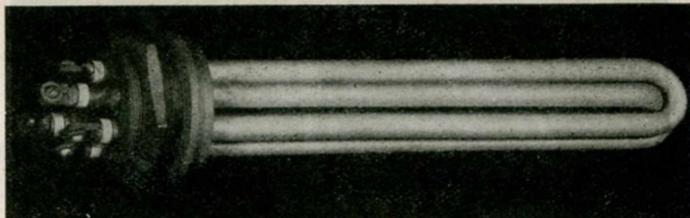


FIG. 4. — Thermoplongeur pour chauffage par immersion directe. Longueur : 470 mm; puissance : 6 kw; 3 circuits; gaine en tube d'acier inoxydable de diamètre 16 mm.

« retour ». Cette réalisation, beaucoup plus rigide, robuste, divise par deux le nombre des gaines constituant les corps de chauffe habituels dont la multiplicité des branches présente, indépendamment d'une relative fragilité, l'inconvénient de favoriser l'entartrage ou la formation de dépôts. Ceux-ci, quelle que soit leur nature, enrobent la gaine d'une couche isolante qui, non seulement nuit à la dispersion rapide des calories dans la masse à chauffer, mais provoque la destruction de l'élément chauffant, dont la température s'élève alors exagérément. Pour pallier cet inconvénient, il est nécessaire de procéder, à intervalles assez rapprochés, au démontage du corps de chauffe et à son nettoyage. Cette opération s'accompagne évidemment d'une vidange du récipient. L'élément monobloc paraît donc présenter des avantages non négligeables.

Il va de soi que l'utilisateur doit s'attacher à ne procéder à la mise sous tension qu'une fois les conditions de chauffe normale entièrement réalisées. En particulier, la densité de puissance étant déterminée en fonction de la quantité de liquide à chauffer, le fonctionnement « à vide », total ou partiel, ne peut qu'avoir pour conséquence la destruction rapide de l'élément. Des dispositions particulières peuvent être prévues, par construction, afin de délimiter, dans la gaine, la partie « active » de la résistance proprement dite qui doit nécessairement être baignée par le liquide. Ces dispositions s'imposent lorsque, par leur nature ou leur situation, on ne peut ménager, à la base des récipients, l'ouverture nécessaire au passage du corps de chauffe. A noter que, même dans ce cas, on doit s'efforcer dans toute la mesure possible, de réaliser un élément fixe, plutôt qu'un élément facilement amovible.

### Chauffage des solides

Pour le chauffage de solides et de gaz, on utilise très souvent des éléments à gaine tubulaire de conception identique aux précédents. Toutefois, c'est à tort que certains constructeurs et utilisateurs estiment pouvoir être moins exigeants en ce qui concerne la nature du métal. Ils semblent négliger l'importance du facteur « oxydation » dont il y a lieu cependant de tenir compte, du fait de la température élevée que peut atteindre le corps de chauffe. C'est pourquoi le souci de la pérennité du rendement et de la longévité de l'élément chauffant conduit à adopter, pour la gaine, des alliages inoxydables, acier 18/8 ou métal « Monel ». Pour le reste, il est toujours avantageux que la construction du corps de chauffe soit l'objet des mêmes soins que lorsqu'il s'agit de travailler dans des liquides, aussi bien en ce qui concerne l'isolement que l'étanchéité.

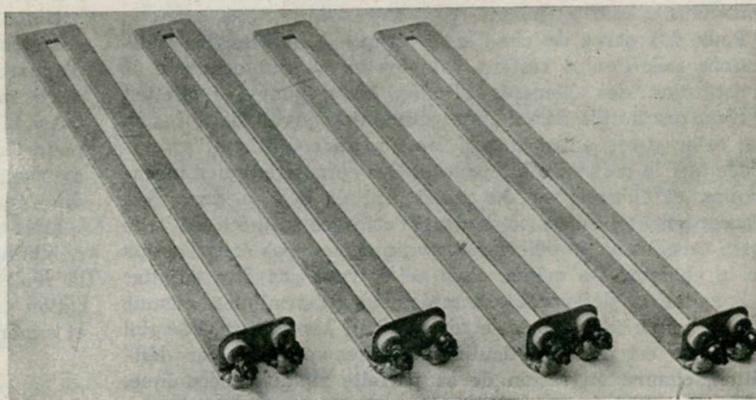


FIG. 5. — Éléments blindés « Rubanox » pour chauffage de plateaux de presse; résistance en nickel-chrome, gaine en Monel ou en acier inoxydable.

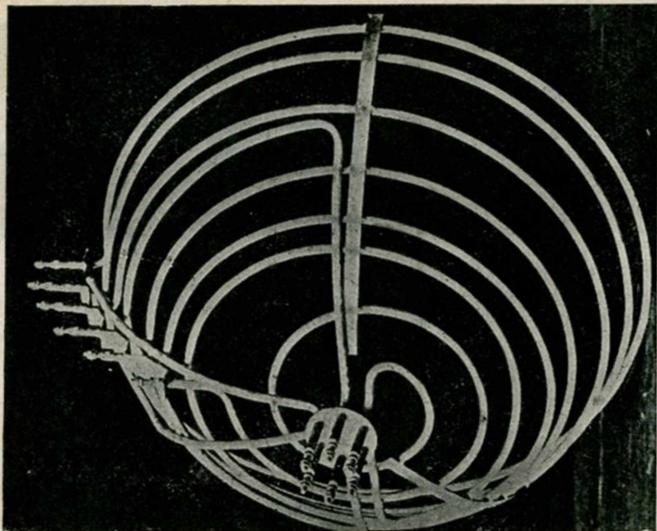


FIG. 6. — Chauffe-ballon en verre pour laboratoire, réalisé en Inconel. Puissance : 4 500 watts.

corps de chauffe soit l'objet des mêmes soins que lorsqu'il s'agit de travailler dans des liquides, aussi bien en ce qui concerne l'isolement que l'étanchéité.

La constitution de corps de chauffe, de forme complexe, est évidemment facilitée par l'emploi des éléments de section ronde, laquelle est cependant la moins favorable aux échanges thermiques par conduction et même par convection pour travail en milieu gazeux. Il est évident qu'on doit leur préférer des éléments plats qui offrent, pour un encombrement généralement moindre, une plus grande surface d'échange.

La gaine plate — en l'espèce 22 mm de large sur 6 mm

d'épaisseur dans une récente réalisation française — a même permis de substituer au fil habituel de nickel-chrome un ruban métallique de 15 mm de large, de même composition et d'épaisseur convenable, cisailé alternativement sur chacun des bords, de façon à se présenter comme un mince ruban plat en zig-zag. Le cisailage étant limité à ce qui doit être la partie active de la résistance, les extrémités peuvent sortir directement, froides, de la gaine, sans soudage, pour le raccordement aux conducteurs d'alimentation.

Les éléments plats, étant pratiquement indéformables dans leur plan, il est cependant possible, par construction, de leur faire affecter des formes assez complexes, de façon, notamment, à présenter les raccordements sur le même côté. Ils peuvent être disposés aisément sur des surfaces planes ou courbes, sur les parois d'une capacité. De même, ils peuvent être facilement insérés dans des corps massifs, dans lesquels on aura préalablement ménagé un logement convenable, tel qu'il enserre étroitement la gaine de l'élément chauffant. L'application type, dans ces conditions, est le chauffage de plateaux de presse.

Parmi d'autres applications caractéristiques, citons le dégivrage des avions ou des aiguilles et commandes de signaux de chemin de fer, le chauffage de matrices de découpage, le préchauffage de trains de laminoirs (les éléments plats du type considérés pouvant supporter sans inconvénients des pressions de l'ordre de 200 t au mètre linéaire), etc..., y compris, bien entendu, tous les aspects des problèmes de climatisation et de séchage pour des températures jusqu'à 600° C environ. La puissance qu'il est possible de mettre en jeu est fonction des conditions d'ordre dimensionnel. Dans certains cas, on peut disposer d'une densité de puissance de l'ordre de 40 à 50 W par centimètre courant, et même avec des densités très inférieures; on équipe couramment, avec quelques dizaines de mètres de gaine chauffante, des machines d'un volume relativement restreint.

### Chauffage de l'air ou de gaz

Pour le chauffage de l'air ou de fluide gazeux, en circulation naturelle en enceinte fermée ou dans une conduite à circulation activée, l'emploi d'éléments chauffants à ailettes est d'un usage courant. Ici encore, la mise en œuvre de l'énergie électrique offre, dans le temps, un grand coefficient de sécurité, en éliminant les nombreux inconvénients qui peuvent résulter de l'emploi d'un autre véhicule de calories, liquide ou gazeux : formation de dépôts, condensation, etc., à l'intérieur des canalisations, sans compter les risques de fuites aux vannes et joints.

Pour des corps de chauffe électrique à ailettes, les indications précédentes restent valables en ce qui concerne la constitution des éléments blindés. Mais, pour les ailettes, il n'est pas inutile de souligner que leur pouvoir de diffusion des calories est, entre autres, fonction des conditions d'assemblage sur la gaine du blindage et des caractéristiques mécaniques et thermiques du métal utilisé. Il y a donc lieu d'accorder la préférence à des ailettes constituées de telle sorte qu'elles ne se déforment pratiquement pas sous l'action de la chaleur. De même, elles ne doivent pas être sujettes à l'oxydation, défavorable aux échanges thermiques, comme à leur bonne tenue dans le temps. Pour les ailettes, l'emploi de l'acier est donc particulièrement recommandé par définition, comme en raison de sa parfaite rigidité mécanique, même aux températures élevées.

Comme dans tous les autres cas précédemment examinés, un corps de chauffe électrique à ailettes a ses caracté-

ristiques thermo-électriques déterminées par des conditions d'emploi données. Celles-ci ne peuvent être modifiées profondément sans risque de provoquer la détérioration de l'élément chauffant. Il est indispensable que les conditions d'échange thermique prédéterminées soient rigoureusement observées tant que l'élément est sous tension. A cet effet, et notamment grâce encore à l'électricité, l'ingénieur dispose d'un arsenal très complet d'appareils de contrôle et de manœuvre.

Notons, pour finir, que, dans un groupement convenable des éléments d'un corps de chauffe électrique et par l'emploi d'appareils de régulation thermostatique, on peut conférer à ce mode de chauffage une grande souplesse d'emploi, aussi bien pour la mise en température, lente ou rapide, et pour l'arrêt, que pour son maintien entre des limites plus ou moins étroites, avec l'automatisme maximum pour ces différentes opérations.

Mais soulignons bien que cette souplesse est fonction de nombreux facteurs dont la connaissance est indispensable à la réalisation correcte d'éléments chauffants blindés, réalisation qui ne doit être confiée qu'à des spécialistes avertis et expérimentés.

P. HELLER.

N. D. L. R. — Les clichés qui illustrent cet article nous ont été obligeamment communiqués par la Revue du Nickel.