

SCIENCE ET VIE



JUIN 1947

N° 357

30 FRANCS



LE CHAUFFAGE PAR THERMOPOMPE

par Henri FRANÇOIS
Ancien élève de l'École polytechnique

Le début de la civilisation mécanique et chimique, que nous vivons encore actuellement, apparaîtra sans doute aux hommes de l'avenir comme une époque de gaspillage effréné : gaspillage du charbon, des minerais, du pétrole, des terres fertiles, etc. Déjà, à la suite des calamités entraînées par l'imprévoyance de l'homme et des crises provoquées par les guerres, une réaction s'amorce, même dans les pays aux richesses « illimitées », comme les États-Unis. Le progrès technique permet de tirer parti des minerais à faible teneur, des déchets agricoles, des scories des usines, et aussi de ces déchets invisibles que sont les calories rejetées inutilement dans l'air ou dans les rivières. Un des plus importants gaspillages actuels provient en effet de nos méthodes de chauffage défectueuses. La crise de l'énergie que nous subissons aujourd'hui aura au moins l'avantage de stimuler les recherches dans ce domaine où d'énormes économies peuvent être réalisées. Une des solutions les plus séduisantes est sans doute la thermopompe qui, avec une faible dépense d'énergie, élève les calories d'une température à laquelle elles sont sans valeur à une température où elles deviennent utilisables. Cet appareil a, dans certains pays, largement dépassé le stade expérimental, et d'énormes stations de chauffage industriel ou urbain par thermopompe y fonctionnent déjà avec un rendement excellent.

PARMI les restrictions que nous a imposées la deuxième guerre mondiale, une des plus pénibles est sans doute le manque de chauffage. La crise du chauffage, qui n'est qu'un des aspects de la crise de l'énergie, n'a pas épargné les non-belligérants, atteints par la suppression presque complète de leurs importations de charbon, et, à l'heure actuelle, elle s'étend à toute l'Europe.

Mais les remèdes adoptés pour atténuer cette crise diffèrent d'un pays à l'autre. Tandis qu'en Angleterre les combustibles liquides viennent au secours du charbon pour certaines de ses applications, en Suisse, c'est à la houille blanche que l'on fait appel dans toute la mesure du possible pour économiser le combustible, réservé aux industries où il est indispensable, et la guerre a fait se multiplier les installations de chauffage électrique.

Or, le chauffage électrique, sous sa forme classique de dissipation de chaleur par effet Joule dans une résistance, est un procédé qui se révèle, en dernière analyse, désastreux. Sans doute peut-on dire que son rendement, pour l'utilisateur, est égal à 100 %, puisque l'énergie électrique absorbée par la résistance s'y retrouve intégralement sous forme de chaleur. Mais, si l'on tient compte des conditions dans lesquelles l'énergie électrique est produite, on parvient à des conclusions bien différentes. Supposons, en effet, que l'électricité soit d'origine thermique. Le charbon brûlé à la centrale produit une certaine quantité de chaleur dont une partie est transformée en énergie mécanique par les turbines, puis en énergie électrique par les alternateurs. Or, l'ensemble chaudière-turbine-condenseur, comme toutes les machines thermiques, a un

rendement très inférieur à 100 %, dont la limite supérieure *théorique* est fixée par le principe de Carnot. Bien que le rendement de toutes les autres transformations de l'énergie jusqu'à son utilisation pour le chauffage soit excellent, le rendement pratique global n'atteint certainement pas 20 %.

D'ailleurs, quelle que soit sa provenance, l'énergie électrique est une forme *noble* de l'énergie, et c'est un gaspillage certain de la transformer directement en une forme *dégradée*, comme la chaleur. Pour réaliser une solution correcte du chauffage électrique, il faudrait faire subir à l'énergie fournie par le secteur des transformations exactement inverses de celles qu'elle a subies à la centrale thermique, c'est-à-dire *chauffer à l'aide d'une machine thermique dont on inverse le fonctionnement*.

L'idée n'est d'ailleurs pas nouvelle, puisqu'il y a plus de quatre-vingt-dix ans le grand physicien anglais Lord Kelvin a proposé d'utiliser comme source de chaleur les calories rejetées par les machines frigorifiques, autrement dit de transformer de l'énergie mécanique en chaleur en inversant une machine thermique.

La thermopompe : une machine thermique qui fonctionne à l'envers

Si nous considérons le bilan calorifique d'une machine à vapeur, à piston ou à turbine, nous voyons (en supposant que le rendement de cette machine soit bon) que, pour produire 1 kWh d'énergie mécanique (équivalent à 860 calories), la chaudière devra fournir environ 4 000 calories.

Sur ces 4 000 calories, 3 100 environ seront

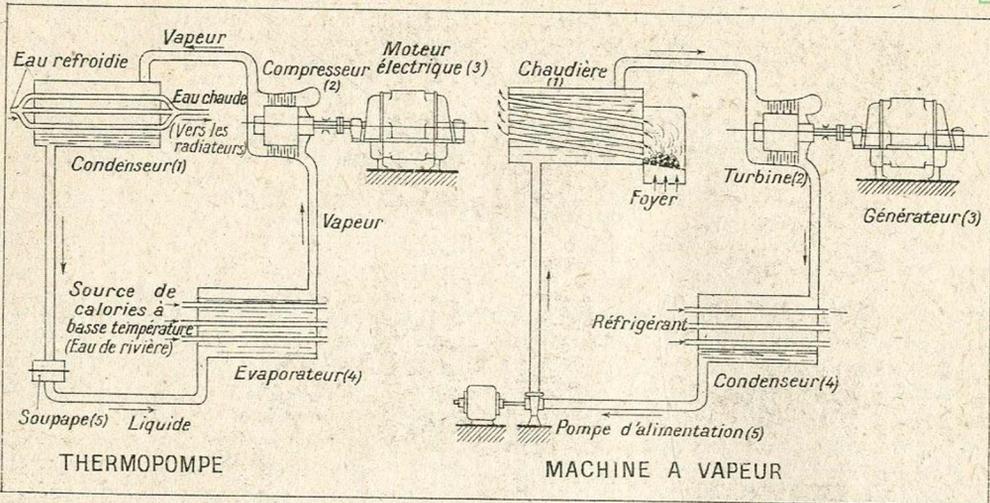


FIG. 1. — LA CORRESPONDANCE DES DIVERS ORGANES D'UNE MACHINE A VAPEUR ET D'UNE THERMOPOMPE

Cette correspondance est indiquée par les chiffres de telle sorte que le chiffre 1 représente dans les deux cas la source « chaude » et le chiffre 4 la source « froide ». Mais, dans la machine à vapeur, la source chaude fournit du travail et la source froide en absorbe, alors que c'est l'inverse qui se produit dans la thermopompe. De même, la machine à vapeur fournit de l'énergie mécanique au générateur électrique 3 sur l'arbre de la turbine 2, tandis que la thermopompe emprunte de l'énergie mécanique au moteur 3 pour actionner le compresseur 2.

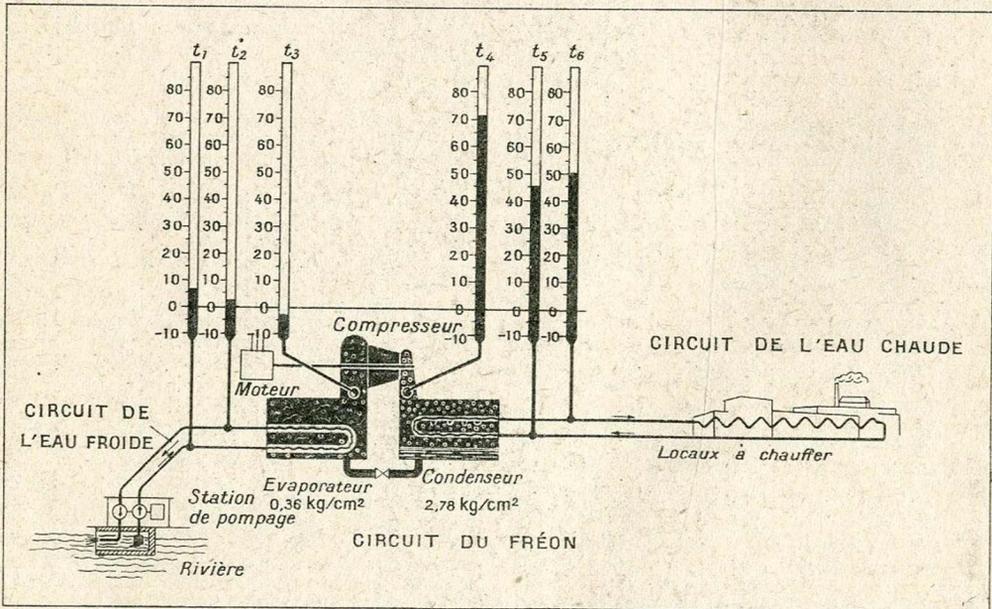


FIG. 2. — SCHEMA DE L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE PAR THERMOPOMPE D'UNE GRANDE USINE SUISSE

L'installation comporte trois circuits indépendants. Le premier fournit de la chaleur à basse température. Il comporte une circulation d'eau de rivière, qui, pompée à 6° C est rejetée à 2° C après avoir cédé des calories à basse température à la thermopompe. Dans la thermopompe circule du « fréon 11 » (de formule $CFCl_2$). Après s'être vaporisé à basse pression et basse température (0,36 kg/cm² et -3° C), le fréon est comprimé jusqu'à 2,78 kg/cm² et porté à 72° environ. Il cède alors dans le condenseur ses calories au circuit de chauffage de l'usine, constitué par une circulation d'eau qui, partant à 50°, revient à 45° après avoir cédé sa chaleur aux radiateurs. Une soupape ramène le fréon liquéfié à l'évaporateur, et le cycle recommence. Pour le chauffage d'une grande fabrique, réalisés suivant ce schéma, la puissance absorbée par le moteur électrique du compresseur était l'équivalent de 0,5 million de calories/heure; la chaleur fournie par la rivière était de 1,4 million de calories/heure. La chaleur fournie à l'installation de chauffage était la somme des deux, soit 1,9 million de calories/heure, soit près de quatre fois celle dépensée sous forme électrique (d'après Brown Boveri)

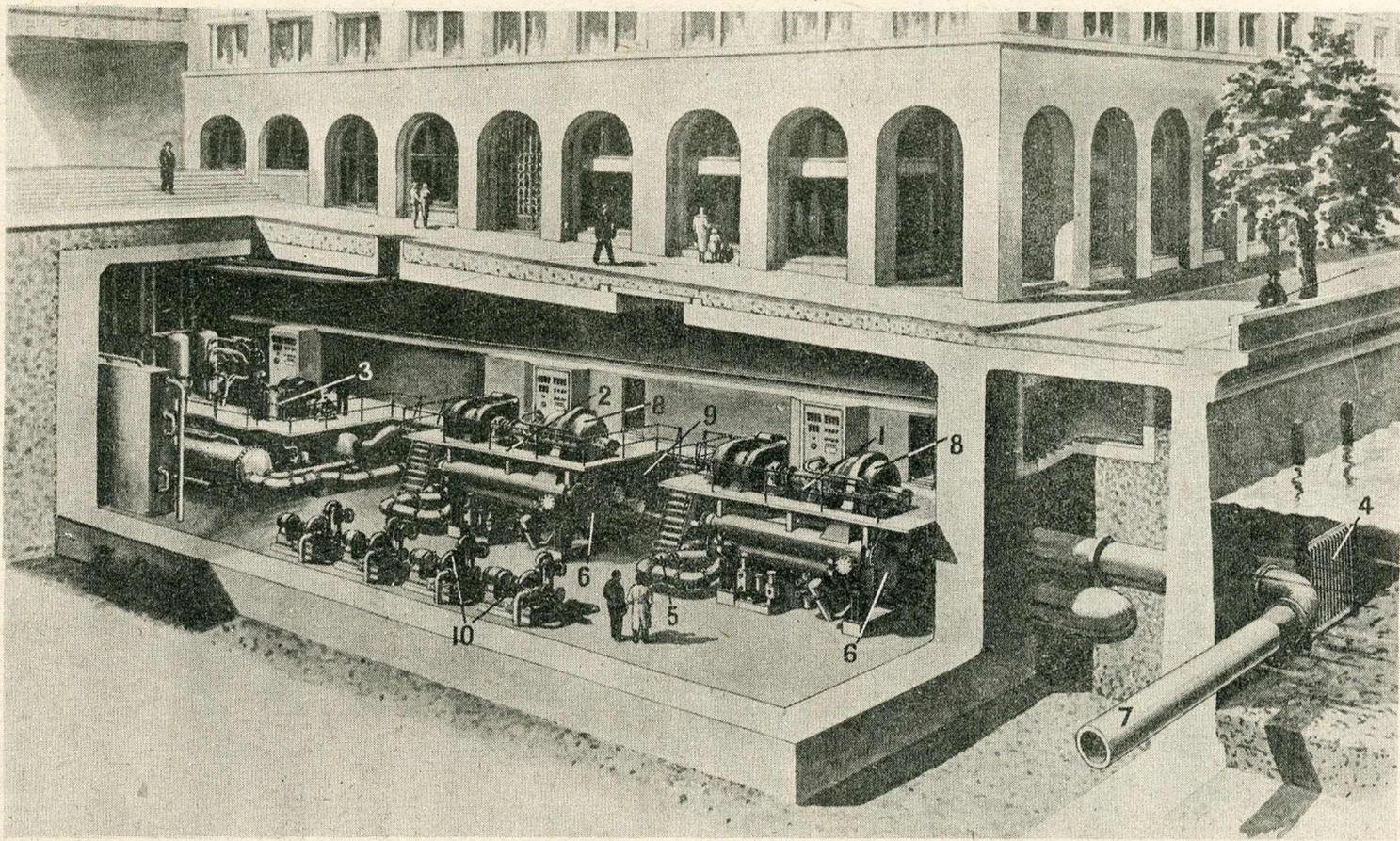


FIG. 3. — VUE DE LA CENTRALE SOUTERRAINE DU RÉSEAU DE CHAUFFAGE PAR THERMOPOMPE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZÜRICH
 La centrale comporte deux thermopompes à turbines 1 et 2 et une thermopompe à piston 3. L'eau de la rivière est prise en 4 et envoyée par la pompe 5 dans l'évaporateur 6 où elle cède sa chaleur et retourne à la rivière 7. On aperçoit en 8 le compresseur actionné par le moteur 9 d'une thermopompe et en 10 les pompes qui activent la circulation d'eau chaude dans le réseau du chauffage. Chaque thermopompe a une puissance maximum de 2 500 000 cal/h et réalise une économie annuelle de 1 200 t de charbon.

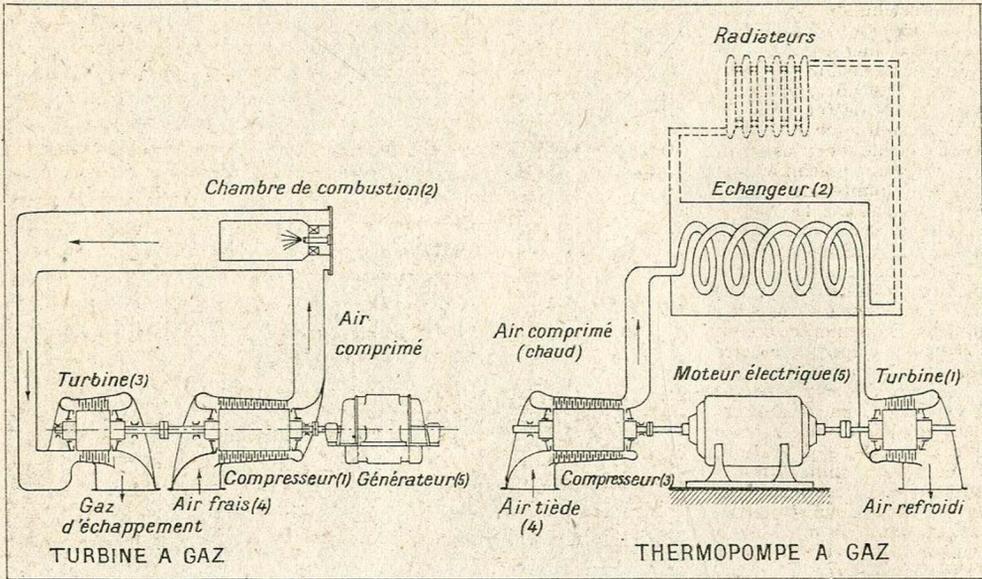
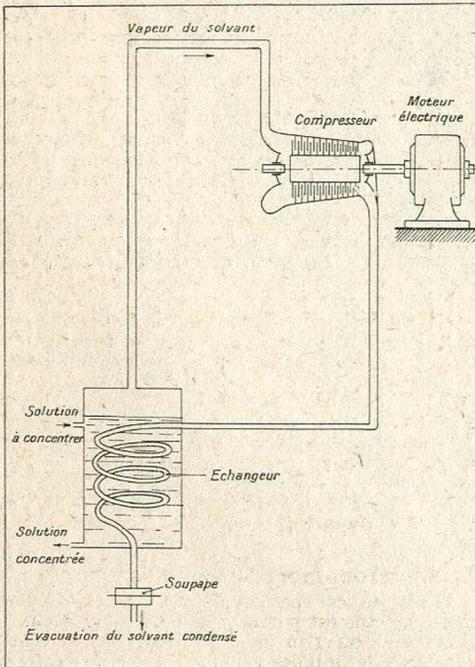


FIG. 4. — LA CORRESPONDANCE ENTRE LES ORGANES D'UNE TURBINE A GAZ ET CEUX D'UNE THERMOPOMPE A GAZ

Cette correspondance est indiquée par les chiffres. Dans les deux cas, c'est l'atmosphère 4 qui est la source « froide », mais elle absorbe de la chaleur dans la turbine à gaz et elle en fournit dans la thermopompe. La source « chaude » 2 fournit la chaleur de combustion du carburant dans la turbine à gaz. Elle absorbe, au contraire, de la chaleur dans la thermopompe. De même, la turbine est remplacée par un compresseur et, réciproquement, et le générateur 5 est remplacé par un moteur électrique qui fournit de l'énergie mécanique à la thermopompe. L'air subit donc les transformations suivantes dans la thermopompe: compression et échauffement dans le compresseur 3, apport de chaleur à l'échangeur 2, détente dans une turbine 1 qui restitue sur l'arbre commun du moteur 5, de la turbine 1 et du compresseur 3 une part de l'énergie employée à comprimer l'air.



fatalement cédées au condenseur, et perdues par conséquent.

On démontre en thermodynamique que, si on réalisait une machine thermique parfaite fonctionnant à l'envers de la première entre les mêmes températures, c'est-à-dire si le fluide employé dans la seconde subissait exactement les transformations inverses de celles qu'il subit dans la première et dans un ordre inversé, on pourrait théoriquement, avec une dépense de 1 kWh, reprendre les calories cédées à la source froide et les restituer à la source chaude, augmentées de l'équivalent du travail fourni à la machine. Dans la pratique, comme le rendement des deux machines n'est pas égal au rendement théorique, la chaleur restituée à la source chaude ne sera, par exemple, que de 3 000 calories, mais elle sera encore trois à quatre fois supérieure à ce que donne la transformation directe du kilowatt-heure en chaleur dans une résistance électrique.

On appellera coefficient de performance le rapport entre la quantité de chaleur fournie à

FIG. 5. — SCHEMA DE PRINCIPE D'UN THERMO COMPRESSEUR

La solution à concentrer est chauffée par un serpentin dans lequel arrive la vapeur chaude du solvant. Elle entre en ébullition, et la vapeur qu'elle laisse échapper est aspirée par le compresseur et portée par sa compression à une température supérieure à la température d'ébullition de la solution. Elle cède à celle-ci sa chaleur de vaporisation et est évacuée à l'état liquide à la partie inférieure de l'échangeur.

la source chaude et l'énergie dépensée pour la produire, exprimée, bien entendu, en calories. Ce coefficient pourra être d'autant plus grand que l'écart de température entre la source chaude et la source froide sera plus petit, car, dans une machine thermique, le nombre de calories déplacées entre la source chaude et la source froide pour une même quantité d'énergie mécanique produite (machine à vapeur) ou consommée (machine inversée) augmente quand l'écart de température entre les deux sources diminue.

On appelle *thermopompe* à vapeur la machine à vapeur inversée qui servira à effectuer cette opération. Dans cette machine, le fluide effectue un circuit en sens inverse de son sens de circulation dans la machine à vapeur et il y subit les transformations inverses, c'est-à-dire que la turbine, ou le cylindre de détente, est remplacée par un compresseur, la chaudière par un condenseur, et le condenseur par un évaporateur.

La figure 1 montre comment la thermopompe est exactement calquée sur la machine à vapeur, et les chiffres indiquent les organes qui se correspondent dans les deux « cycles » inversés parcourus par le fluide. Si l'on voulait pousser la correspondance jusqu'au bout, si la pompe d'alimentation de la machine à vapeur devrait correspondre, dans la thermopompe, une petite turbine utilisant la chute d'énergie au passage du fluide de la pression de la source chaude à celle de la source froide. Cette énergie ne vaut pas la complication qui en résulterait, et le passage s'effectue par une simple soupape.

Dans la thermopompe, c'est la source froide qui fournit des calories à basse température, et la source chaude qui recueille ces calories à une température plus élevée. La machine peut, suivant les températures entre lesquelles elle travaille et la « source » utilisée, servir d'appareil de chauffage ou de machine frigorifique. Dans la thermopompe utilisée pour le chauffage des immeubles, la source chaude cède ses calories à une circulation d'eau du type « chauffage central », qui va distribuer ces calories dans toutes les pièces par des radiateurs. On peut admettre que l'eau de cette circulation soit à une température supérieure à celle d'un chauffage au mazout, si l'on augmente la surface des radiateurs, mais on ne peut descendre au-dessous d'une certaine limite (50 à 60° C). Le fluide qui circule dans la thermopompe devra donc céder ses calories à une température supérieure à cette valeur, de l'ordre de 75° C, par exemple, afin que les échanges de chaleur se fassent à une vitesse suffisante.

Quant à la température de la source froide, elle est déterminée par celle de la source de calories « gratuites » que l'on trouve à utiliser. Cette source pourra être soit de l'eau de rivière,

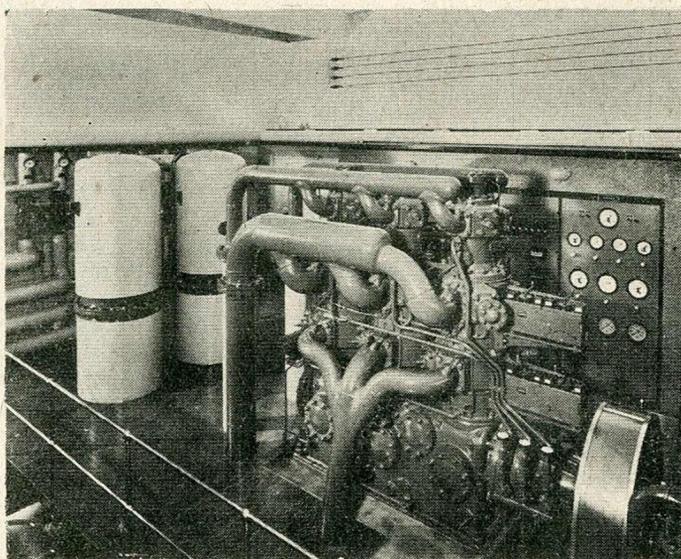


FIG. 6. — UN COMPRESSEUR VERTICAL A TROIS CYLINDRES ET TROIS ÉTAGES DE COMPRESSION A LA CENTRALE COMPLÉMENTAIRE DE POMPES A CHALEUR « WALCHE » DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE ZURICH (SULZER)

qui, en hiver, se refroidit moins vite que l'atmosphère et peut fournir en quantité pratiquement illimitée des calories entre 2° et 15° C par exemple, soit l'eau de la ville (dans la mesure où un prélèvement de calories qui pourra abaisser sa température d'une dizaine de degrés ne présente pas d'inconvénient), ou enfin les eaux usées, mais tièdes, d'un établissement de bains ou d'une piscine.

On peut d'ailleurs augmenter le rendement d'une installation en divisant l'intervalle de température à franchir en plusieurs paliers entre lesquels plusieurs machines fonctionnent en série. Mais le gain ainsi obtenu est évidemment compensé par un accroissement rapidement prohibitif de la complexité des installations.

Le choix des températures extrêmes détermine celui du fluide que l'on fait circuler dans la machine. Les machines frigorifiques exigent des liquides conservant aux basses températures (— 20° C) une tension de vapeur appréciable, par exemple l'ammoniaque liquide. Pour les appareils de chauffage, destinés à fonctionner entre 0° et 70° C par exemple, on utilise généralement des fluides spéciaux tels que les fréons, qui sont des hydrocarbures dans la molécule desquels le fluor est substitué à un certain nombre d'atomes d'hydrogène. Les fréons ont l'avantage d'être remarquablement inertes au point de vue chimique, non toxiques et inodores.

La figure 2 représente le cycle parcouru par un tel fluide dans une installation pratiquement réalisée.

Le thermocompresseur

Il est un cas particulier où l'emploi d'une thermopompe est particulièrement avantageux : c'est celui où l'on doit évaporer de grandes quantités de liquides au cours de la fabrication

industrielle d'un produit chimique ou alimentaire. Si l'on se contente de rejeter dans l'atmosphère la vapeur produite par cette opération, la chaleur latente de vaporisation des liquides, qui est énorme, est entièrement perdue, et cette évaporation est très coûteuse : pour évaporer 1 kg d'eau, il faut 600 calories environ, soit l'équivalent de 1 kWh ou de 1/10 kg de charbon de qualité moyenne. Or, nous sommes ici dans un cas idéal pour l'emploi d'une thermopompe ; la vapeur produite, qui est sensiblement à la température d'ébullition du solvant, pourra, après une élévation de température relativement faible, restituer ses calories à de nouvelles quantités de liquide.

Mais ici l'appareil se simplifie en ce sens qu'au lieu d'avoir trois circuits indépendants, l'un qui amène les calories, l'autre qui les élève d'une température à une autre, et enfin le troisième qui les transporte au point d'utilisation, ces trois circuits sont ici confondus en un seul, et c'est le solvant à évaporer qui sert de fluide de la thermopompe.

La vapeur qui prend naissance dans l'évaporateur est portée par un compresseur à une température et une pression supérieures à celles de l'ébullition dans l'évaporateur, puis vient échanger ses calories avec le liquide à évaporer, tandis qu'elle-même se condense, cédant sa chaleur latente de vaporisation (fig. 5).

Comme une faible élévation de température de cette vapeur suffit pour que l'échange se fasse correctement avec le liquide à évaporer, et que, par conséquent, l'écart des températures de la source chaude et de la source froide est faible, le coefficient de performance sera très satisfaisant : il pourra être de l'ordre de 15, et l'économie de charbon qu'il permet de réaliser comparativement à une installation sans récupération de calories est considérable.

Comme on est libre de régler la pression en amont et en aval du compresseur, on peut également, dans une certaine mesure, régler la

température à laquelle s'effectue la vaporisation du solvant, et en particulier, si la pression avant le compresseur est inférieure à la pression atmosphérique, ce vide partiel permet d'évaporer des solutions à des températures inférieures à la température d'ébullition normale du solvant. Cette propriété est utilisée notamment pour concentrer à basse température et à l'abri de l'air des produits alimentaires fragiles, jus de fruits par exemple.

La thermopompe à air comprimé

La machine à vapeur était, à l'époque où Lord Kelvin eut l'idée du chauffage thermodynamique, la machine thermique par excellence. Depuis, un deuxième type de machine lui a fait une concurrence qui, dans certains domaines, a été victorieuse : c'est la famille des machines qui utilisent comme fluide non plus un liquide et sa vapeur, mais l'air. Cette famille se subdivise à son tour entre les moteurs à explosions ou diesels et les turbines à gaz. Du point de vue thermodynamique, il n'y a d'ailleurs pas de différence entre l'un et l'autre, puisque l'air y parcourt le même cycle : il est d'abord comprimé (par un piston ou par un compresseur), puis porté à une température élevée (par une explosion ou une combustion continue), puis il se détend en produisant du travail (dans un cylindre ou dans une turbine), et enfin il s'échappe et un appel d'air frais recommence le cycle. Dans les deux cas, le travail de compression est emprunté au travail de détente des gaz, soit grâce à l'inertie des pièces tournantes (moteur à explosions ou diesel), soit grâce à l'entraînement du compresseur par la turbine à gaz, et l'énergie mécanique utilisée est la différence entre l'énergie de détente et l'énergie de compression de l'air.

Ici encore le rendement de la machine, rapport entre l'énergie libérée par la combustion du carburant et le travail utilisable, a un maximum théorique qui dépend des températures de la source chaude et de la source froide : une partie seulement de la chaleur fournie par la combustion est transformée en énergie mécanique, l'autre est rejetée dans l'atmosphère et perdue.

Il est possible d'inverser le cycle parcouru par l'air dans de telles machines : la figure 4 représente la correspondance entre les organes d'une turbine à gaz et ceux d'une thermopompe à air comprimé.

On constate expérimentalement, compte tenu de ce que les rendements de la turbine et du compresseur ne sont pas parfaits, que la machine ainsi inversée restitue à la source chaude non seulement l'équivalent de l'énergie mécanique fournie à l'ensemble turbine-compresseur, mais encore des calories prélevées sur la source « froide »,

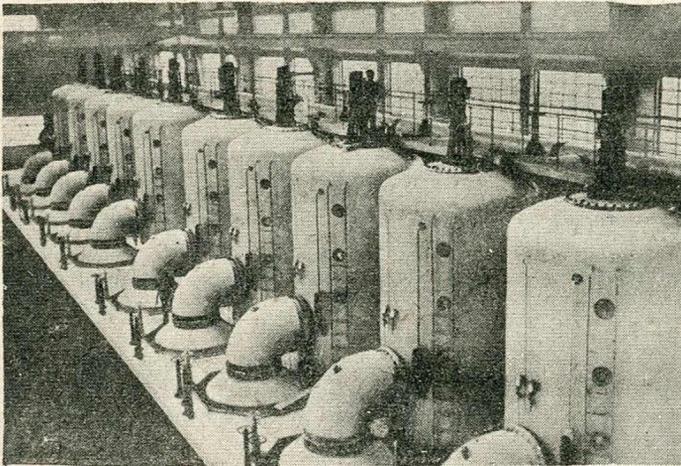


FIG. 7. — UNE GRANDE INSTALLATION DE POMPES THERMIQUES (ESCHER WYSS)
On aperçoit ici les évaporateurs d'une fabrique suisse d'aluminium, qui sont capables d'évaporer 100 000 l d'eau à l'heure.

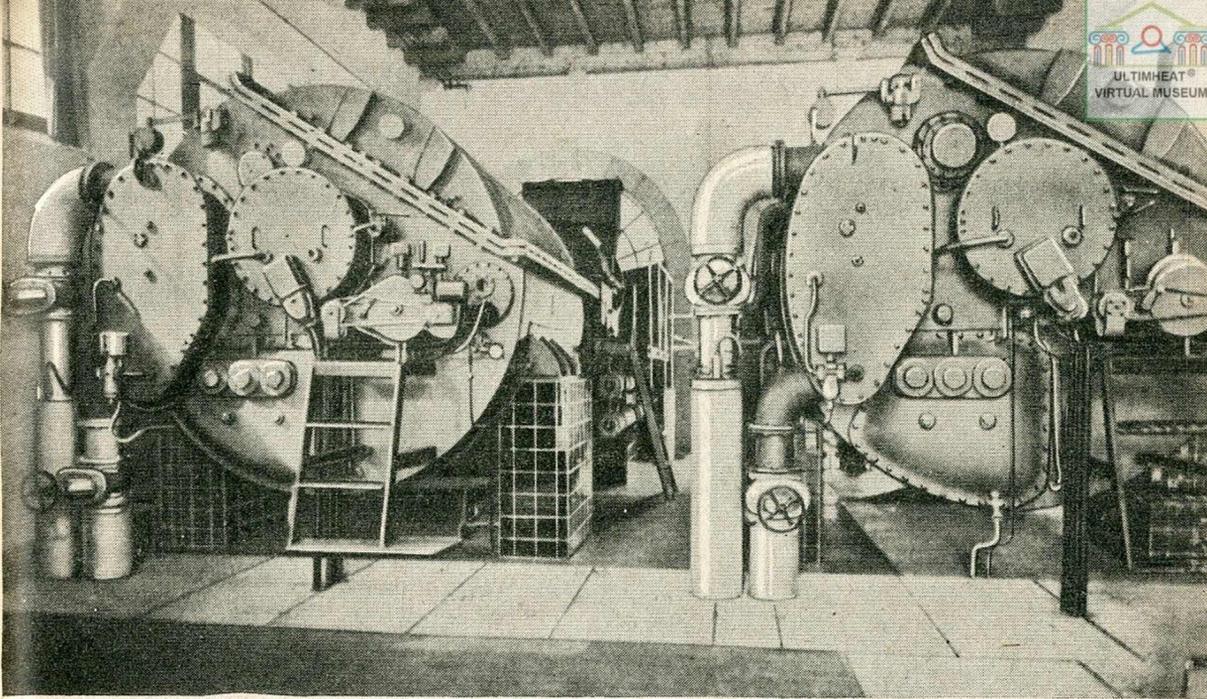


FIG. 8. — DEUX POMPES THERMIQUES PRODUISENT L'EAU CHAUDE DE L'USINE DE SOIE ARTIFICIELLE DE LA STECKBORN S. A. (BROWN BOVERI)

La puissance de chacune de ces deux thermopompes est de 1 à 1,7 million de calories/heure. Une seule de ces deux machines suffit, lorsque l'eau du lac de Constance est à 13° C, à produire de l'eau à une température comprise entre 58° et 70° C en quantité suffisante pour les besoins de l'usine. Leur coefficient de performance est égal à 3, et le fonctionnement d'une seule unité économise 2 100 t de charbon par an.

qui est constituée ici par une certaine masse d'air.

Ici encore le coefficient de performance de l'appareil de chauffage, rapport entre la chaleur recueillie à la source chaude et l'énergie mécanique dépensée, sera d'autant meilleur que l'écart entre les températures extrêmes de l'air au cours de ses transformations sera moins élevé.

Par conséquent, le procédé de chauffage sera d'autant plus intéressant que l'on disposera comme source froide d'une masse d'air aussi tiède que possible. Cette masse d'air sera, par exemple, l'air vicié de l'immeuble qu'on veut chauffer, ou de l'air ayant séjourné dans un souterrain, ou à défaut l'air ambiant.

Dans de nombreux cas, il risque d'être saturé d'humidité et de poussières. Il faudra en tenir compte pour ne pas détériorer la turbine et le compresseur et pour éviter les condensations, voire même le givrage sur les aubes de la turbine.

Les réalisations

La thermopompe était encore, avant la guerre, une curiosité scientifique. On citait quelques exemples de réalisations dont le plus fameux était l'installation de conditionnement d'air du gratte-ciel de la Southern California Edison Co, à Los Angeles, fonctionnant depuis 1931, l'été comme réfrigérateur, et l'hiver comme appareil de chauffage, concurrentement avec un chauffage d'appoint par radiateurs électriques.

Le fluide de la pompe — chlorure de méthyle — y passe par les températures et les pressions extérieures suivantes :

de -38°C et 1,7 atm à $+77^{\circ}\text{C}$ et 5,8 atm

quand l'appareil fonctionne comme réfrigérateur ;

de -36°C et 1,5 atm à $+102^{\circ}\text{C}$ et 6,44 atm quand l'appareil est employé pour le chauffage.

Nous ne décrivons pas cette installation relativement compliquée ; elle comprend une tour servant aux échanges de chaleur avec l'atmosphère et fournissant des calories l'hiver et des « frigories » l'été, et un circuit d'utilisation qui est constitué par la circulation d'air « conditionné ».

Disons seulement que, dans les meilleures conditions, le coefficient de performance est de 2,32, chiffre assez peu satisfaisant qui s'explique par l'écart considérable des températures extrêmes du cycle (qui peut atteindre 138°C).

La guerre a puissamment stimulé les recherches et les réalisations dans le domaine du chauffage thermodynamique, surtout en Suisse où le charbon était rare et l'électricité abondante. L'une des installations les plus fameuses est constituée par le réseau de chauffage à distance de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich (fig. 3), qui alimentait, en 1943, 17 bâtiments de l'école, 17 bâtiments de l'Hôpital cantonal, 3 grands immeubles et 85 maisons privées.

La source de chaleur utilisée est ici l'eau de la Limmat, dont la température peut varier, durant la période d'utilisation de la thermopompe, entre 2°C et 16°C . La centrale de chauffage est construite à proximité de la rivière et elle est constituée par deux thermopompes à turbocompresseur, et une thermopompe à piston. Le fluide employé dans les thermo-

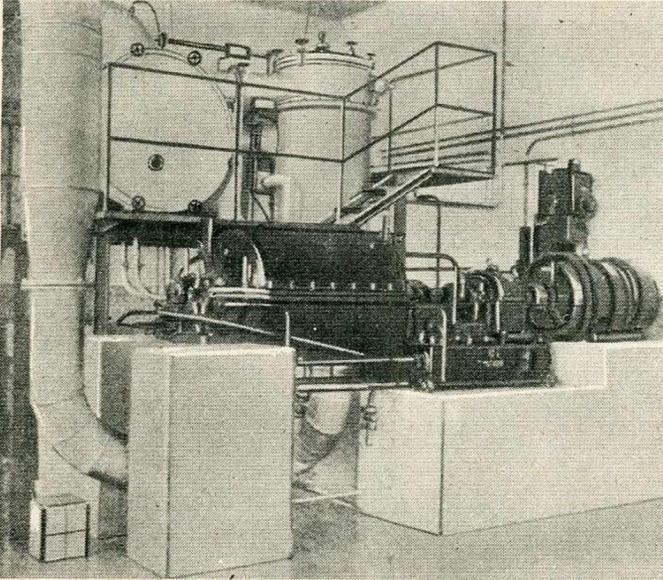


FIG. 9. — UN THERMOCOMPRESSEUR SERVANT A LA FABRICATION DU LAIT CONCENTRÉ A LUCENS (SUISSE) (BROWN BOVERI)

En haut, à droite, l'évaporateur étudié de telle sorte que très peu de gouttelettes de liquide soient entraînées par la vapeur malgré la mousse abondante qui se produit à l'ébullition du lait; à sa gauche, le séparateur centrifuge qui élimine les dernières gouttelettes entraînées, et, en dessous, le thermocompresseur.

pompes est du fréon. Chacun des thermoblocs, dont la puissance de chauffe est d'environ 2,5 millions de calories/heure, pompe jusqu'à 1 200 m³ d'eau de rivière, dont il abaisse la température de 1,7 C. Fonctionnant à puissance maximum, il élève de 37 à 74° C la température de l'eau de chauffage circulant dans les canalisations du réseau à un débit de 100 m³/h. La consommation d'énergie du moteur d'entraînement du compresseur est de 960 kW, et le coefficient de performance est légèrement supérieur à 3. Chaque thermopompe réalise ainsi une économie annuelle de 1 400 t de charbon, soit, pour l'ensemble du réseau, une économie de 4 200 t.

Dans d'autres cas, on a équipé d'une thermopompe des installations de chauffage existantes et le coefficient de performance est moins bon en raison de la température plus élevée à laquelle il faut fournir les calories de chauffage (température qui est imposée par les dimensions réduites des radiateurs).

Où le coefficient de performance devient extrêmement élevé, et l'économie de charbon qui en résulte beaucoup plus considérable, c'est quand on veut récupérer des calories à température très peu différente de la température d'utilisation; c'est le cas, par exemple, où de l'eau ou de l'air chaud est rejeté à la température sensiblement égale à celle où il est utilisé, température qui ne dépasse pas 80°. C'est le cas, par exemple dans un grand nombre d'installations industrielles, en particulier dans l'industrie textile, la fabrication du papier, aux abattoirs, dans les brasseries, les buanderies, les tanneries, le chauffage des piscines, etc. L'emploi

des thermopompes s'est répandu dans ces installations industrielles et a permis d'économiser des quantités de charbon énormes. La figure 8 représente une de ces installations, qui sert à fournir l'eau chaude à une usine de soie artificielle.

Enfin, la thermopompe triomphe dans les installations d'évaporation de grandes quantités de liquide. Les figures 7 et 9 montrent un thermocompresseur servant à la concentration de solutions salines et du lait.

L'avenir de la thermopompe

La thermopompe, qui a conquis définitivement son droit de cité dans un pays comme la Suisse, verra-t-elle son emploi se développer dans d'autres pays? On ne pourra juger de l'opportunité du remplacement d'un appareil de chauffage classique, au charbon ou par résistance électrique, qu'après avoir établi un bilan dans lequel entrent bien d'autres facteurs que l'économie de charbon réalisée.

Sans doute, il existe des cas extrêmes où la solution sera toujours en faveur du même mode de chauffage. Par exemple quand le coefficient de performance atteindra, comme dans certaines fabrications industrielles, des valeurs de l'ordre de 15, il sera presque toujours intéressant d'employer une thermopompe. Pour de très faibles valeurs de ce coefficient, on préférera des installations consommant plus de charbon, mais qui ont l'avantage de la simplicité. La limite entre ces cas extrêmes varie d'un pays à l'autre en fonction du prix du combustible et du prix de l'énergie électrique. Les conditions sont infiniment plus favorables à la diffusion de ce mode de chauffage en Suisse, pays de houille blanche, qu'en Belgique, pays dont l'économie repose sur l'exploitation des mines de charbon.

Enfin, l'installation d'un appareillage compliqué et coûteux exige un personnel qualifié pour sa surveillance, son entretien, et il faut l'amortir en un certain nombre d'années. Elle ne se justifie que pour des entreprises importantes: centrales urbaines de chauffage, grandes usines, etc., et dans des endroits où l'on dispose de grandes quantités de chaleur à récupérer, ou d'une grande masse d'eau (rivière, lac, etc.).

Malgré les très beaux résultats obtenus par les ingénieurs dans le domaine du chauffage thermodynamique, il convient donc d'être assez prudent en ce qui concerne le développement de ses applications en France, qui restera sans doute assez longtemps cantonné dans le domaine des applications industrielles avant de conquérir celui du chauffage domestique.

HENRI FRANÇOIS