Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 4

Artikel: Les Pompes à Chaleur Modulaires

Autor: Aguet, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-914991

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Les Pompes à Chaleur Modulaires

Par M. Aguet

621.365:621.577

1. Principe de fonctionnement

Pompe à chaleur, pompe de chaleur ou thermopompe suivant les auteurs, cette formule évoque pour tout ingénieur des souvenirs de thermodynamique que nous allons raviver brièvement.

La pompe à chaleur travaille conformément au premier et au second principe de la thermodynamique. Selon le premier principe, le flux de chaleur $\dot{Q}_c$ transféré par l'échangeur intétieur à la «source chaude» (en l'occurence au local à chauffer à la température T_c) est égal à la somme du flux de chaleur $\dot{Q}_f$ transféré de la «source froide» (air extérieur à T_f) à l'échangeur extérieur et de la puissance mécanique ou électrique P fournie à la pompe à chaleur (fig. 1).

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_f + P$$

Le deuxième principe conduit à l'inégalité

$$P > \frac{T_c - T_f}{T_c} \cdot \dot{Q}_c$$

Pour $T_c = 293$ K et $T_f = 278$ K, on obtient $P > \dot{Q}_c/20$, ce qui signifie qu'*à la limite* une pompe à chaleur idéale pourrait réduire au vingtième la puissance électrique nécessaire pour chauffer un local à 20 °C lorsqu'il fait 5 °C à l'extérieur. Le «rendement» ou efficacité de la pompe à chaleur idéale est donc supérieur à 1

$$\varepsilon_{\text{Carnot}} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

En réalité on n'atteint pas une telle performance:

$\varepsilon_{\text{réel}} < \varepsilon_{\text{Carnot}}$.

Concrètement, la pompe à chaleur est constituée par quatre éléments fondamentaux (fig. 2): un compresseur, deux échangeurs et un détendeur reliés entre eux par une tuyauterie parcourue par un fluide caloporteur, p. ex. du fréon.

En fonctionnant en pompe à chaleur, le compresseur, entraîné en général par un moteur électrique [1]), comprime le fréon dans l'échangeur intérieur où le changement de phase gazeuse-liquide provoquera une élévation de la température. La différence de température entre le fluide chauffant dans l'échangeur intérieur et la température ambiante du local à chauffer permettra le transfert d'énergie calorifique destinée au chauffage.

Après le passage à travers la vanne de détente, le fréon se détendra dans l'échangeur extérieur où le changement de phase liquide-gazeuse entraînera un abaissement de la température de l'air extérieur. La différence de température entre le milieu extérieur et l'échangeur extérieur permettra un transfert ou pompage d'énergie calorifique dans ce milieu, d'où le nom de pompe à chaleur. Comme on peut le constater, la pompe à chaleur ne constitue pas une source d'énergie primaire, mais elle effectue uniquement un transfert d'énergie calorifique.

Une telle installation peut fonctionner en réfrigérateur et jouer le rôle d'un climatiseur, si elle est munie d'une vanne d'inversion du cycle permettant de renverser les rôles respectifs des échangeurs sans modifier le sens de rotation du compresseur [5; 6] [2]).

2. Historique

Les premiers travaux conduisant à proposer le principe de la thermopompe sont dus aux Français *Carnot* (1824) et *Pelletan* (1835). En 1840, *Edwards,* en Angleterre, fit breveter le principe de la thermopompe étudiée ultérieurement par *Lord Kelvin* (1855). En 1855, *Rittinger* publia également une brochure consacrée à «l'étude théorique et pratique sur un nouveau

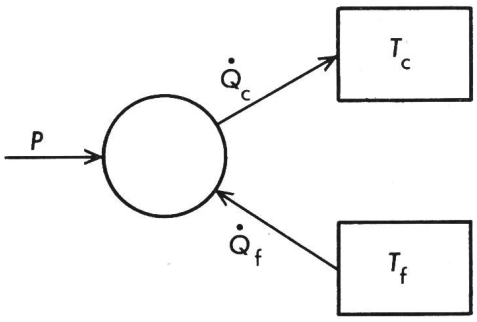

Fig. 1 Diagramme des flux d'énergie d'une pompe à chaleur

- P puissance électrique ou mécanique fournie à la pompe à chaleur
- $\dot{Q}_f$ flux de chaleur provenant de la source froide
- $\dot{Q}_c$ flux de chaleur transféré à la source chaude par l'échangeur intérieur
- T_f température froide (échangeur extérieur)
- T_c température chaude (échangeur intérieur)

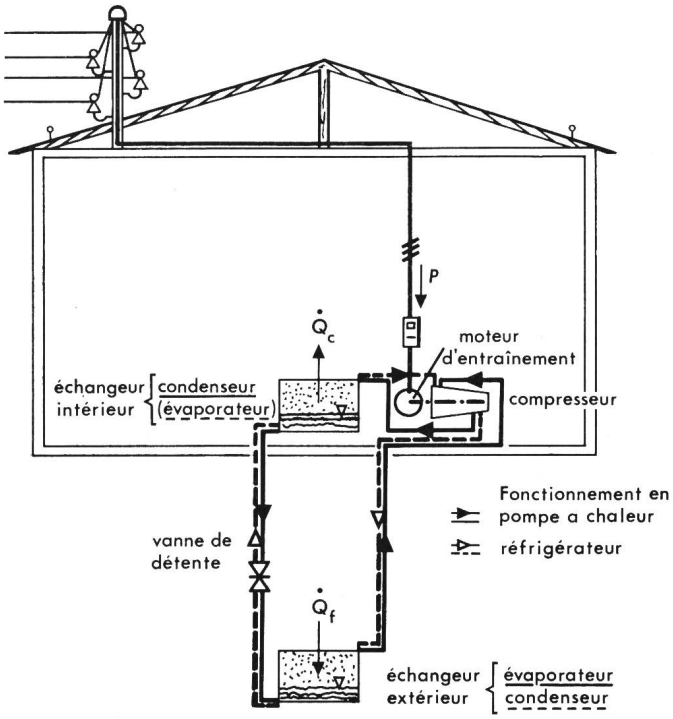

Fig. 2 Schéma de principe de la pompe à chaleur

[1]) On étudie aussi des compresseurs alimentés au gaz (moteur Wankel), des pompes à chaleur à absorption ou à thermocouple (effet Peltier). La plupart de ces solutions, à l'état de recherche, présentent des rendements élevés qui pourraient constituer des solutions d'avenir, mais dont le coût est trop élevé actuellement.

[2]) Voir la bibliographie à la page 190.

Les divers types de pompes à chaleur Tableau I

Types	Entrée milieu extérieur de l'échangeur extérieur			
		gaz *)	liquide *)	solide *)
Sortie milieu extérieur de l'échangeur intérieur	gaz	AIR-AIR air froid-air chaud pulsé	EAU-AIR rivière, lac, nappe d'eau souterraine-air chaud pulsé	SOL-AIR terre-air chaud pulsé
	liquide	AIR-EAU air froid-eau chaude; radiateurs	EAU-EAU rivière, etc. – eau chaude; radiateurs	SOL-EAU terre-eau chaude; radiateurs
	solide	AIR-SOL air froid-plancher, terre (serres)	EAU-SOL rivière, etc. – plancher, terre (serres)	SOL-SOL (terre-plancher, terre serres)

*) Tous les milieux extérieurs de l'échangeur extérieur peuvent être envisagés sans ou avec appoint d'énergie solaire.
Remarque: des combinaisons des divers types peuvent être envisagées.

procédé d'évaporation applicable à toutes sortes de liquides et n'utilisant qu'une seule et même quantité de chaleur, qui est mise dans ce but en circulation ininterrompue par de l'énergie hydraulique». L'année suivante, le procédé fut essayé dans les salines d'Ebensee près de Salzbourg et permit des économies de l'ordre de 66 % de combustible dans le processus d'évaporation des saumures. Il s'agit là de la première application expérimentale de la thermopompe. Des difficultés étant apparues au niveau de la continuité du cycle, en liaison avec des phénomènes de calorifugeage dus à la formation de carapaces de sel sur les échangeurs, l'expérience n'eut pas de suite immédiate. Ce ne fut qu'en 1878, que le professeur *Piccard* de Genève mit en exploitation industrielle, dans les salines de Bex, une installation fiable permettant la récupération des calories perdues dans le processus d'évaporation des saumures et ne présentant pas le défaut de l'installation expérimentale des salines d'Ebensee (fig. 3). Cette installation constitue la première application de la thermopompe en Suisse. Dès lors et jusqu'à la fin de la première guerre mondiale, le principe de la thermopompe fut oublié, et c'est à la suite des grandes crises économiques et politiques de la première moitié du XXe siècle que l'on vit réapparaître son application.

Les installations de pompes à chaleur réalisées à cette époque sont toutes basées sur l'utilisation de cours d'eau ou de lacs comme sources de l'échangeur extérieur. Ces installations de dimensions moyennes à grandes (quelque 100 kW à quelques

Avantages et inconvénients des divers types d'échangeurs extérieurs Tableau II

	Avantages	Inconvénients
AIR	– toujours à disposition – applicable à des véhicules terrestres (trains, voitures, camions, etc.) et bateaux – adapté à tout type de bâtiments	– température variable (donc efficacité variable) – humidité variable: givrage – mauvais échange de chaleur
EAU	– température assez constante (donc efficacité constante et élevée) – pas de congélation – particulièrement adapté à des bâtiments à caractère individuel, collectif ou industriel, bien situés par rapport à des nappes d'eau souterraine, des cours d'eau, des lacs, ainsi qu'en marine	– pas toujours à disposition – infrastructure importante: tuyauterie
SOL	– température peu variable (donc efficacité constante) – particulièrement adapté à des bâtiments à caractère individuel ou collectif	– pas toujours en surface suffisante à disposition – risque de congélation (chute d'efficacité) – infrastructure importante: tuyauterie

Avantages et inconvénients des divers types d'échangeurs intérieurs Tableau III

	Avantages	Inconvénients
AIR	– humidification de l'air facile – particulièrement adapté à la climatisation de bâtiments neufs à caractère collectif ou individuel (également processus industriels: séchage tabac, maïs, etc.) – ventilation efficace	– courant d'air (évitables) – bruit – problèmes d'esthétique des canalisations d'air – infrastructure des canalisations d'air importante
EAU	– particulièrement adapté au chauffage et à la réfrigération de bâtiments à caractère individuel ou collectif équipés pour le chauffage par eau chaude	– pas d'humidification de l'air naturelle – infrastructure importante: tuyauterie et grande surface de radiateurs
SOL	– particulièrement adapté au chauffage et à la réfrigération de bâtiments modernes à caractère individuel ou collectif équipés pour le chauffage rayonnant par le sol et les murs	– pas d'humidification de l'air naturelle – infrastructure importante: tuyauterie – entretien pratiquement impossible

MW de puissance électrique) étaient plus particulièrement adaptées à des processus industriels et au chauffage des bâtiments publics de grandes dimensions: EPFZ 960 kW, EPFL 85 kW de puissance électrique.

L'industrie suisse a développé, à cette époque, des installations parfaitement adaptées mais peu compétitives, étant donné les investissements initiaux et les frais d'entretien élevés nécessaires en regard du prix relativement bas des combustibles classiques de chauffage [6; 7].

La crise d'approvisionnement en énergie de 1973, a remis à jour l'étude de l'intérêt du chauffage par pompes à chaleur en Suisse sur la base d'agrégats modulaires ayant été développés au cours de la décennie précédente dans divers pays industrialisés [5].

3. Solutions actuelles de pompes à chaleur

Les méthodes de production en grande série ont facilité l'élaboration d'agrégats modulaires compacts. Toutefois, il faut signaler que pour obtenir une bonne fiabilité, il est indispensable de poursuivre l'étude de matériaux économiques supportant les sollicitations mécaniques, thermiques et de l'environnement sur la durée de vie prévue de l'installation.

L'existence de divers types de pompes à chaleur modulaires sur le marché (tableau I) nécessite de faire un choix en fonction de critères techniques, économiques, écologiques, etc. (tableaux II et III).

En Suisse, des difficultés surgissent concernant l'implantation et l'alimentation d'échangeurs extérieurs en rivières, lacs ou nappes d'eau souterraines [8]. Ces inconvénients ne plaident pas en faveur de cette solution malgré les avantages qu'elle présente sur le plan de la stabilité de température, donc du coefficient de performance. Des études à ce sujet sont en cours.

Quant aux échangeurs situés dans la terre, les surfaces importantes d'échanges devant être mises en jeu en liaison avec la mauvaise conductibilité thermique du milieu et les risques de congélation, ils ne peuvent être envisagés qu'en parallèle avec un appoint solaire. Par contre, les pompes à chaleur modulaires à échangeur extérieur à air, avec échangeur intérieur alimentant des gaines de climatisation à air chaud pulsé ou des radiateurs à eau chaude classiques, paraissent les mieux appropriées pour le chauffage individuel, collectif, ainsi que dans le tertiaire.

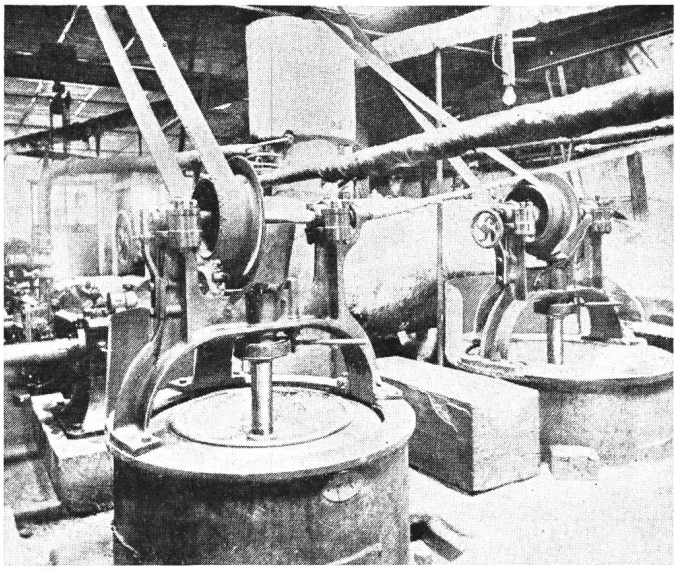

Fig. 3 Essoreuse et appareil Piccard à sel fin
Salines de Bex, usine de Bévieux 1878

Dans les bâtiments ventilés artificiellement, la pompe à chaleur peut fonctionner sur tout ou partie de l'air repris dans les locaux. Toutefois, dans l'état actuel de la conception du chauffage en Suisse, l'utilisation d'air chaud, si elle présente le meilleur rendement énergétique, ne rencontre pas l'unanimité auprès des utilisateurs [5].

Adresse de l'auteur
Michel Aguet, ing. dipl. EPFL-SIA, Chaire d'Installations Electriques EPFL, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.

L'utilisation de la Pompe à Chaleur Air-Air pour le Chauffage de Locaux d'Habitation en France

Par R. Fontana

621.365 : 621.577

1. Introduction

Depuis trois années, on assiste en France à un développement intéressant de l'utilisation de la pompe à chaleur pour le chauffage des locaux. Ce procédé représente encore une part de marché très faible; il y avait fin 1976 en France environ 3500 pompes à chaleur air-air en fonctionnement. Mais il ne faut pas oublier qu'il y a seulement 5 ans, une pompe à chaleur était chose rarissime et d'intérêt académique. Le but de cet article est de décrire et chiffrer les principaux paramètres de l'utilisation des pompes à chaleur air-air pour le chauffage des maisons individuelles, et de les comparer avec un chauffage traditionnel au fuel. Les solutions et les chiffres présentés sous la forme d'un exemple d'une maison individuelle sont basés sur un nombre important d'installations réalisées en France et sont également valables pour le petit collectif et le petit tertiaire.

2. La pompe à chaleur

Une pompe à chaleur air-air prend l'énergie thermique dans l'air extérieur au moyen d'un échangeur de chaleur, et la transfère à l'intérieur du local par l'intermédiaire d'un second échangeur compensant ainsi les déperditions calorifiques. Cette énergie est distribuée dans le local par de l'air chaud. L'intérêt de cet appareil sur le plan des économies d'énergie réside dans le fait que pour fournir, par exemple, 10 kW de chaleur au local à chauffer, il est nécessaire de fournir à la pompe à chaleur 4 kW d'énergie électrique, les 6 kW restant étant pris sur l'air extérieur.

La pompe à chaleur utilisée dans notre exemple est un appareil monobloc (fig. 1) dont les caractéristiques principales sont les suivantes: