

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 105 (1979)
Heft: 26: SIA, no 6, 1979

Artikel: Contribution des pompes à chaleur à l'économie énergétique suisse
Autor: Houlmann, N. / Silberring, L. / Strahm, Ch.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73873>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.05.2025

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

Contribution des pompes à chaleur à l'économie énergétique suisse

par N. Houlmann, L. Silberring et Ch. Strahm, Lausanne

Les difficultés actuelles d'approvisionnement en produits pétroliers, dont une grande part est utilisée pour le chauffage, ont provoqué une prise de conscience vis-à-vis des économies d'énergie.

Le présent article passe en revue divers systèmes de chauffage et montre les multiples avantages de la pompe à chaleur sur le plan des économies d'énergies primaires, des nuisances, etc. Les auteurs examinent également les interactions entre la pompe à chaleur et l'environnement, ainsi que les problèmes d'implantation (distribution de la chaleur et de l'énergie électrique). Pour terminer, quelques considérations économiques ainsi que des recommandations sont brièvement présentées.

1. Introduction

Les difficultés d'approvisionnement en pétrole depuis 1973 ont provoqué un regain d'intérêt pour les systèmes de chauffage économisant (ou remplaçant) les produits pétroliers, à savoir le chauffage solaire, le chauffage tout électrique et la pompe à chaleur (PAC). Celle-ci, utilisée depuis fort longtemps¹, a connu en Suisse des développements momentanés pendant la Première et la Seconde guerre mondiale, à cause de la pénurie de charbon. Certaines de ces installations ont fonctionné pendant plus de trente ans (Hôtel de Ville de Zurich, bureaux communaux de la Ville de Zurich, chauffage à distance de l'EPFZ, etc.). Depuis les années 50, un type particulier de PAC a été appliqué à grande échelle aux USA. Il s'agit de machines de climatisation (type air-air) pouvant fonctionner pour le chauffage. (Environ 200 000 pompes à chaleur de ce type sont installées chaque année aux USA.)

En Suisse, la situation est bien différente. En effet, la climatisation des locaux ne s'est pas généralisée et notre climat relativement froid se prête mal à ce type de PAC. Par contre, un certain nombre de PAC utilisant l'eau comme source de chaleur ont été installées durant les dernières décennies pour le chauffage des bâtiments. Cependant, la puissance de toutes ces installations reste très faible par rapport à la puissance totale de chauffage en Suisse.

Ces dernières années, les systèmes combinés PAC-énergie solaire ont été également introduits sur le marché des petites installations de chauffage pour maisons familiales.

Le Fonds national de la recherche scientifique finance, depuis quelques années,

des projets de recherche concernant le développement et les applications des PAC. Dans ce cadre, l'Institut de thermodynamique de l'EPFL étudie un projet concernant l'économie des PAC. Une ample documentation a été réunie, étudiée et évaluée. Parallèlement, des méthodes de calcul numérique ont été mises au point pour déterminer les performances des PAC. Les résultats sont à la disposition des personnes intéressées. Cet article présente quelques conclusions intermédiaires de notre étude. Une information plus complète concernant nos travaux et nos réflexions fera l'objet d'un rapport final, dont la publication est prévue pour 1980.

2. Technologie actuelle du chauffage

La grande majorité des installations actuelles de chauffage domestique fonctionnent avec des chaudières à huile légère, chauffant l'eau d'un circuit alimentant des radiateurs. En moyenne annuelle, 50 à 80 % (selon la taille de la chaudière et le réglage de l'installation) du pouvoir calorifique (isobare inférieur) du combustible (40 MJ/kg) est transformé en chaleur dans ces installations. En particulier, les chaudières combinées, préparant également l'eau chaude sanitaire, ont un fonctionnement peu favorable en été, en raison de leur faible utilisation. Les combustibles brûlés dans les chaudières pour le chauffage direct des locaux (ou pour la préparation de l'eau chaude sanitaire) sont mal utilisés, même si le rendement calculé habituellement était élevé. Les méthodes d'une meilleure utilisation sont décrites dans le texte suivant.

Les chaudières mentionnées peuvent chauffer l'eau jusqu'à une température élevée sans que cela pénalise leur rendement.

De plus, une telle température est favorable pour limiter la corrosion, côté

Abstract

Energy economy becomes a matter of general concern, as the difficulties regarding the supply of hydrocarbons increase. A great part of the latter is still widely used for space heating.

Various systems of heating are investigated in this article and several advantages of heat pump are shown, in particular those related to the economy of energy resources, etc. Problems concerning an incorporation of heat pumps in energy systems (heat and electric power distribution) are described and interactions with the environment examined. Finally, some economical considerations are briefly presented together with some recommendations.

gaz de combustion. La plupart des installations sont équipées de corps de chauffe dimensionnés pour une température moyenne de 80°C. Cette température n'est que rarement atteinte, même les jours les plus froids (peu nombreux), à cause du surdimensionnement des installations; le reste du temps, cette température est plus basse.

La Suisse consomme annuellement environ 12 millions de tonnes de pétrole ou de combustible équivalent [1]² pour les besoins de chauffage (1975), dont 80 % proviennent du pétrole. Les importations correspondantes coûtent au moins 2 milliards de francs. Cette consommation d'énergie primaire pourrait être réduite considérablement par la généralisation de moyens de chauffage plus rationnels. En outre, le pétrole pourrait être remplacé par d'autres sources d'énergie primaire.

3. Autres technologies de chauffage (Voir aussi annexe)

Une meilleure utilisation du combustible est possible grâce à l'emploi de centrales combinées, produisant simultanément de l'énergie électrique et de la chaleur destinée au chauffage. Celle-ci est transportée jusqu'à l'utilisateur par un réseau d'eau surchauffée (réseau de chauffage à distance). Une densité de population supérieure à environ 10 000 habitants par km² ou une densité équivalente d'autres consommateurs est considérée comme nécessaire pour une bonne économie d'un tel réseau [2 et 3]. De plus, les distances maximales entre la centrale et les utilisateurs ne doivent pas être trop élevées. Le lecteur trouvera plus d'informations concernant cette question dans la référence [3].

Les limites économiques dépendent bien entendu de plusieurs conditions particulières, surtout de la relation entre le prix des combustibles et le coût du capital.

¹ Lord Kelvin en parlait déjà au milieu du XIX^e siècle.

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

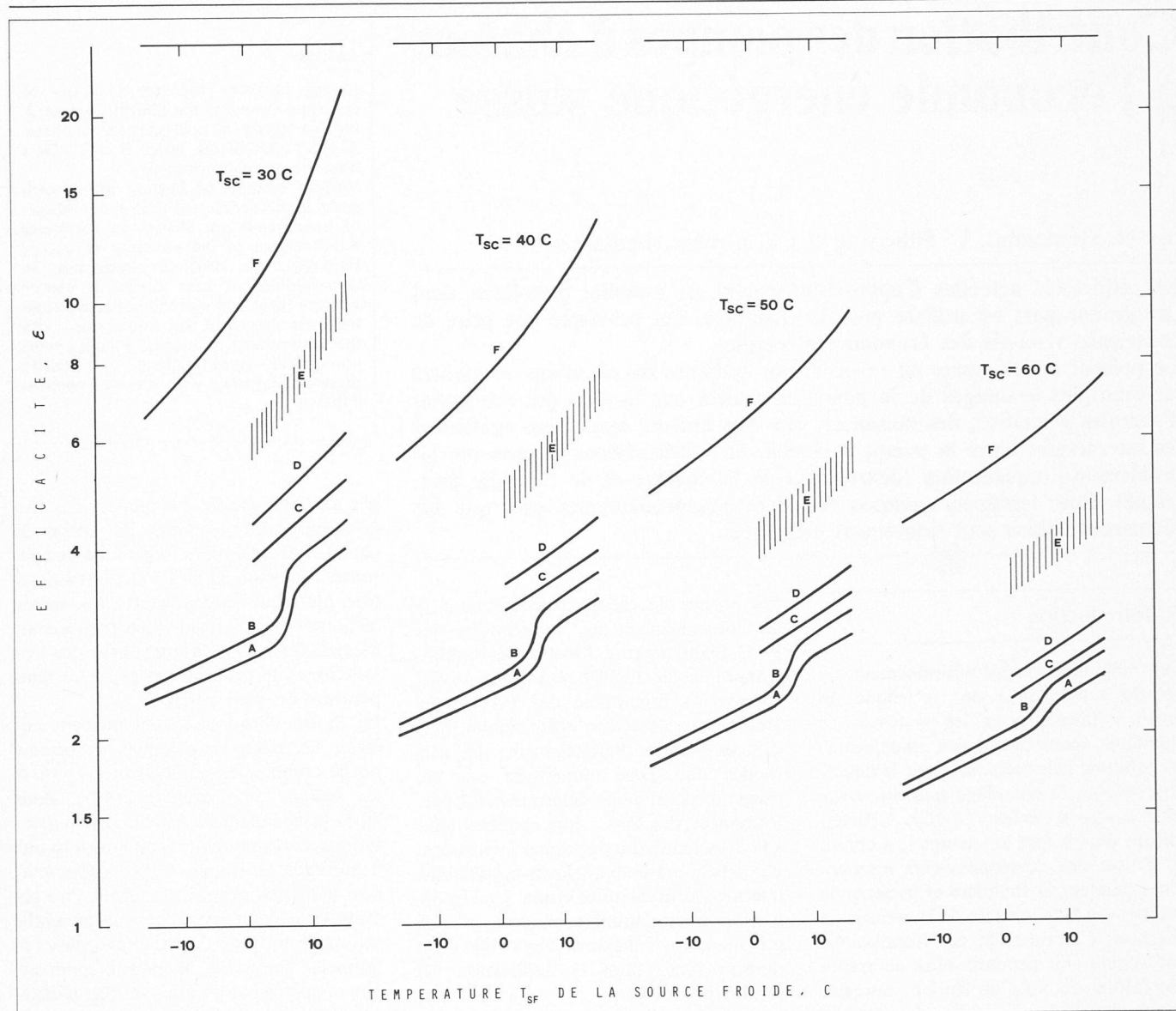


Fig. 1. — Performances des pompes à chaleur typiques, entraînées par les moteurs électriques.

Nomenclature :

ϵ Efficacité définie comme rapport entre l'énergie thermique fournie au réseau de chauffage et l'énergie électrique nécessaire pour entraîner les PAC et les auxiliaires (les pompes ou les ventilateurs nécessaires pour véhiculer l'eau ou l'air utilisé comme source froide, ainsi que les systèmes de dégivrage des PAC chauffés par l'air).

T_{sc} Température moyenne (logarithmique) de l'eau ou de l'air chauffé.

T_{sf} Température moyenne (logarithmique) de l'eau ou de l'air utilisé comme source froide.

Courbes A à D : Caractéristiques des petites pompes dimensionnées pour $T_{sf} = 7^\circ\text{C}$ et $T_{sc} = 38^\circ\text{C}$ en cas d'air ou $T_{sf} = 4^\circ\text{C}$ et $T_{sc} = 44^\circ\text{C}$ en cas de l'eau utilisant les fluides chauffants/chauffés suivants :

A Air/Air B Air/Eau C Eau/Air D Eau/Eau

Courbe E : Performance expectative d'une grande centrale de chauffage par PAC eau/eau, bien adaptée au fonctionnement dans les conditions variables. Courbe F : Limite de performance des pompes à chaleur idéales, fonctionnant selon le cycle Carnot.

Dans les autres cas, il est néanmoins possible d'obtenir une bonne utilisation de l'énergie sans avoir recours à un grand réseau de chauffage à distance, grâce à la pompe à chaleur. Ce système permet d'utiliser l'énergie-chaleur de l'environnement à des fins de chauffage, une opération nécessitant un apport d'énergie mécanique (exception : PAC à absorption). Un moteur électrique est le plus souvent utilisé. L'énergie électrique nécessaire à son entraînement peut être transportée économiquement sur de grandes distances, partiellement au moins, par le réseau existant. Une certaine compensation des variations de la puissance électrique demandée est possible grâce au stockage d'énergie thermique (accumulation d'eau chaude). L'énergie électrique est alors consommée hors des périodes de pointe du réseau.

Comparée au chauffage électrique par résistance, la PAC, dans l'état actuel de la technologie, ne consomme que 2 à 4 fois moins d'énergie pour une même fourniture de chaleur. Ces chiffres sont toujours considérablement au-dessous des limites imposées par la thermodynamique (voir figures 1 et 2). Ils peuvent être améliorés surtout par une optimisation suscitée par l'évolution des prix de l'énergie. Des informations plus détaillées concernant les pertes typiques d'une PAC figurent dans la référence [4]. Les produits pétroliers seront probablement remplacés par d'autres sources d'énergie primaire, avec le recours à l'électricité comme énergie intermédiaire ; la PAC en devient d'autant plus intéressante.

Cette dernière peut également être entraînée par un moteur à combustion

interne (fonctionnant avec du gaz ou de l'huile légère) dont les rejets thermiques sont récupérés pour les besoins du chauffage. Dans ce dernier cas, la consommation de combustible, comparée à celle d'une chaudière classique, est réduite de moitié environ.

Toutefois, comme on l'a dit auparavant, une partie de l'énergie de chauffage est prise à l'environnement, qui joue alors le rôle de source froide. La plus répandue est l'air extérieur disponible partout. Malheureusement, l'extraction de chaleur à partir de l'air ambiant est bruyante et nécessite de grandes différences de température (10 à 20 K dans le cas de l'air comparé à 2 à 4 K dans le cas de l'eau) ainsi que des débits d'air importants. Ceci est dû d'une part à la chaleur volumique de l'air atmosphérique, qui est environ 1/3500 de celle de l'eau, et

d'autre part au coefficient de transfert-chaaleur par convection qui est dans le premier cas le 100^e de ce qu'il est dans le second. Ces différents éléments provoquent une consommation importante de puissance électrique pour une puissance thermique donnée. De plus, en raison de notre climat, l'utilisation de l'air ne s'est guère généralisée en Suisse jusqu'à maintenant, en raison d'inconvénients supplémentaires (température atmosphérique souvent inférieure à 0°C et givrage de l'échangeur extérieur). En utilisant l'eau de surface ou de la nappe phréatique comme source froide au lieu de l'air, la PAC fonctionne dans de meilleures conditions (comparée à l'air, l'eau a une température moyenne plus élevée, les débits à transporter sont plus faibles, les échanges de chaleur sont meilleurs, d'où une consommation d'énergie électrique moindre).

La Suisse possède d'importantes ressources hydrologiques (lacs, rivières) situées en majeure partie à proximité des centres urbains. D'ailleurs, les premières installations ont utilisé ces ressources (Limmat, Bodan, Léman).

L'eau de la nappe phréatique présente un grand intérêt parce que sa température est relativement élevée et pratiquement constante (8 à 10°C) toute l'année. Toutefois, une partie de notre approvisionnement en eau potable provient de cette nappe. C'est pourquoi certains milieux craignent une atteinte à l'environnement. Cette question demeure controversée. Précisons que l'eau pompée dans la nappe est restituée par un deuxième puits après son refroidissement.

Un prélèvement d'eau de surface ou de la nappe phréatique représente un investissement difficilement acceptable pour une maison individuelle. Une certaine centralisation des installations de PAC améliore cette situation et apporte également les autres avantages d'une taille supérieure. L'eau chauffée par une centrale de PAC peut être distribuée par un petit réseau similaire à un réseau de chauffage à distance. Toutefois, la température optimale de l'eau chauffée par la PAC est en général inférieure à la température habituelle dans ces derniers réseaux. En conséquence, l'éloignement maximal entre une source d'eau et les utilisateurs de chaleur alimentés par une PAC est plus faible que pour les centrales de chauffage à distance habituelles. La moitié de l'éloignement considéré comme acceptable pour ce dernier type de centrale peut être économique pour le chauffage à distance par PAC. L'eau ainsi chauffée est habituellement utilisée directement pour les radiateurs et le chauffage par le sol, séparément ou en combinaison.

Dans le cas où l'accès à ces ressources hydrologiques est trop malaisé, il est possible d'employer des installations de petite puissance qui stockent, dans un réservoir d'eau ou dans le sol, l'énergie

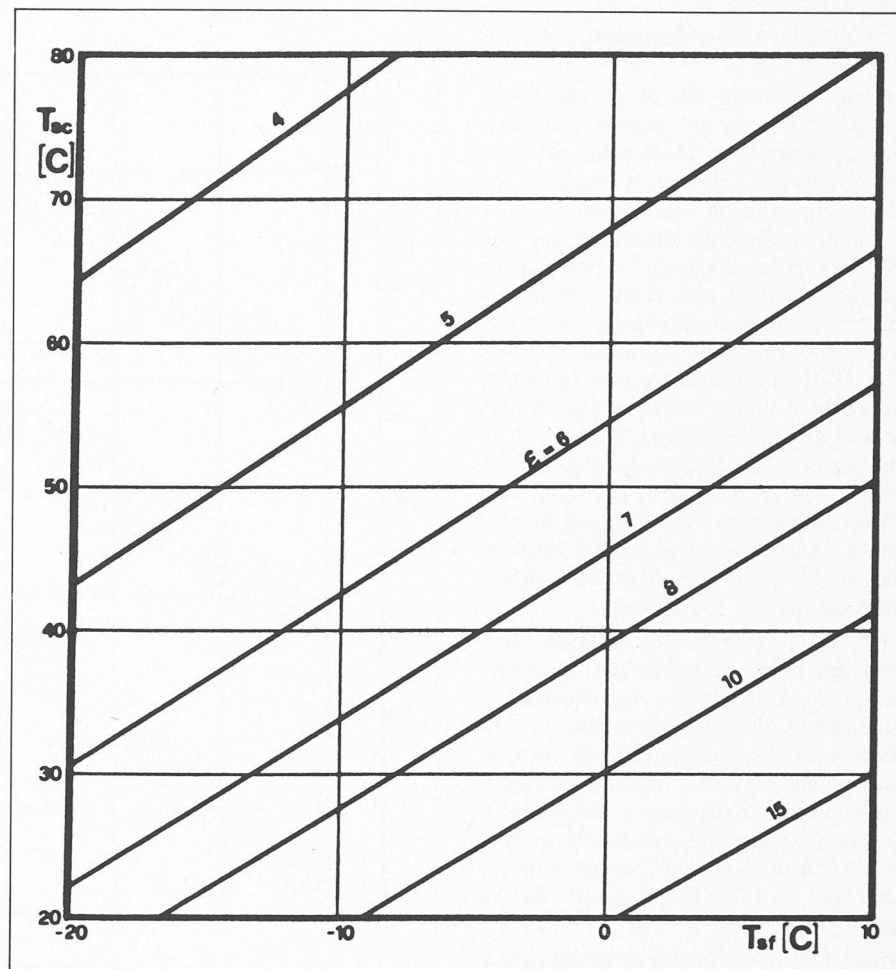


Fig. 2. — Limite de performance des pompes à chaleur idéales, fonctionnant selon le cycle Carnot. Nomenclature identique à celle de la figure 1.

solaire captée sur le toit. Cette énergie est ensuite utilisée comme source froide de la PAC.

En ce qui concerne le gain d'énergie, ainsi que l'investissement, l'utilisation de la chaleur de l'environnement par des PAC est, en général, plus intéressante que la récupération du rayonnement solaire direct au moyen de capteur.

4. Sauvegarde de l'environnement

L'énergie puisée dans l'environnement par les PAC est, en fait, de l'énergie solaire stockée dans le milieu ambiant. Le refroidissement de ce milieu est surcompensé par les déperditions thermiques des bâtiments. De plus, il compense avantageusement une partie des nombreux rejets thermiques (centrales thermiques, industries, etc.).

D'autre part, une pollution due aux éventuelles fuites de fluides frigorigènes des PAC (hydrocarbures halogénés) ne présente que de faibles risques, du fait de leurs propriétés (solubilité minime dans l'eau, grande volatilité et faible toxicité). Quant au danger de perturbation de la couche stratosphérique d'ozone par le chlore (qui est un des composants des fluides considérés), il n'a pas encore

été prouvé et les opinions scientifiques sur ce problème sont partagées. Il faut remarquer que les quantités de fluide rejetées par le manque d'étanchéité des PAC, par rapport à la totalité des rejets, restent très faibles, même si les PAC étaient installées sur une grande échelle. Un rapport plus détaillé sur ce rejet sera publié prochainement.

L'utilisation massive actuelle d'huile légère pour le chauffage individuel entraîne le rejet à l'atmosphère de grandes quantités de produits de combustion provoquant une atteinte à l'environnement. Pour la Suisse, citons le rejet annuel dans l'atmosphère de quelque 1000 t de CO, 120 000 t de SO₂, 40 millions de t de CO₂ (1975), sans compter les suies, particules solides et oxydes d'azote. Une certaine centralisation (chauffage à distance) permettrait l'introduction de grandes chaudières présentant un meilleur comportement en ce qui concerne le rendement et les rejets (surveillance permanente, filtres, etc.). Le remplacement d'une partie des installations de chauffage existantes par des PAC entraînerait une réduction de la pollution atmosphérique due à une réduction de la consommation de combustibles fossiles ainsi qu'à une centralisation de la combustion.

5. Considérations économiques

La rentabilité du chauffage par PAC, comparée à celle des installations classiques, dépend essentiellement de leurs performances et des coûts respectifs de l'huile légère et de l'électricité. La consommation d'énergie électrique par une PAC est, pour une fourniture de chaleur donnée, d'autant plus faible que la différence de température entre la source froide et le réseau de chauffage est petite (fig. 3). Il en découle que plus la température de la source froide est élevée, plus celle-ci est intéressante. D'autre part, la chaleur doit être fournie à l'utilisateur à une température aussi basse que possible, ce qui encourage l'emploi de systèmes « basses températures » (chauffage par le sol, radiateurs à grande surface ou à circulation forcée, etc.).

Le coût de l'énergie électrique est fonction des tarifs pratiqués par les entreprises de distribution. Actuellement la majorité d'entre elles appliquent un tarif différencié entre les heures de forte et faible demande, pour encourager l'accumulation de chaleur hors des périodes de pointe. Certaines compagnies proposent aussi un tarif préférentiel pour encourager le chauffage « tout électrique ».

Mais si cette technique se développe, il est probable que ces tarifs seront progressivement supprimés, ceci à cause même du supplément important d'investissement pour les moyens de génération et distribution d'énergie électrique qui est lié à la puissance de pointe.

L'investissement pour des PAC couvrant tous les besoins en chaleur des bâtiments n'est pas toujours justifié. En effet, la puissance thermique maximale n'est nécessaire que quelques jours par an, c'est-à-dire pendant les périodes limitées de grands froids (à Lausanne, la température atmosphérique n'est inférieure à -4°C que pendant environ 260 heures par an, soit environ 11 jours). C'est pendant ces périodes de fortes demandes en chaleur que la température de l'eau de chauffage doit être la plus élevée, condition peu favorable au bon fonctionnement de la PAC. Souvent une bonne solution consisterait à dimensionner la PAC pour une fraction de puissance maximale, par exemple pour 50 %. Dans ce cas la PAC fournirait environ 80-90 % de l'énergie thermique annuelle comme charge de base (y compris la préparation de l'eau chaude sanitaire). La demande supplémentaire serait couverte par un chauffage d'appoint (chaudière à mazout ou au gaz, éventuellement au bois), qui servirait également de réserve.

Pour les bâtiments dans lesquels une climatisation est nécessaire en été, la même machine peut être utilisée comme pompe à chaleur en hiver, ce qui augmente considérablement la rentabilité de l'installation.

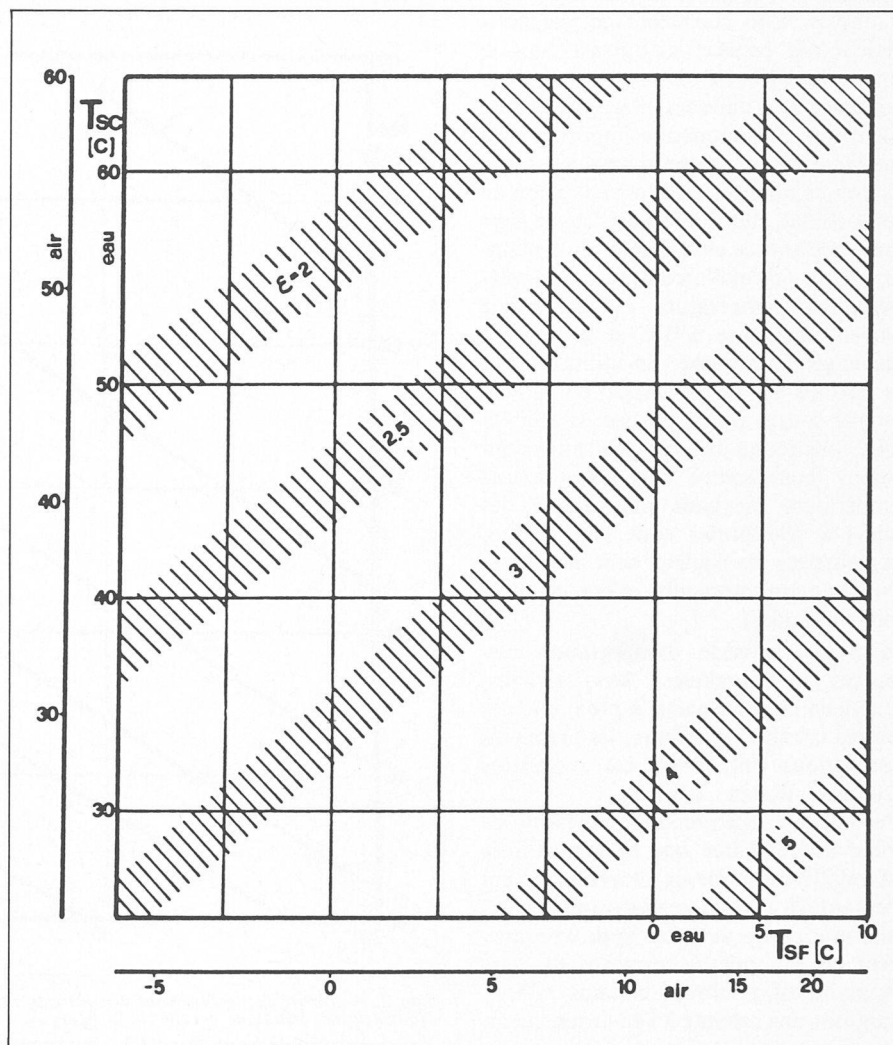


Fig. 3. — Influence des sources de chaleur et des niveaux de température des sources sur l'efficacité des petites pompes à chaleur typiques. Nomenclature identique à celle de la figure 1.

6. Possibilités de remplacement d'une partie de l'huile légère destinée au chauffage

En Suisse, environ 275 PJ³ ont été utilisés en 1975 pour les besoins du chauffage [1]. (Environ 87 % proviennent du pétrole, du charbon, du gaz naturel et du bois, et environ 13 % d'énergie électrique d'origines diverses.) La consommation d'énergie primaire dans ce but a été d'environ 480 PJ ou 12 millions de tonnes de pétrole ou de combustible équivalent. Quelle part pourrait-elle en être économisée ?

Il serait illusoire de tabler sur un remplacement rapide et important des systèmes de chauffage actuels par des PAC. Toutefois, le scénario suivant semble réalisable dans un proche avenir.

Admettons d'abord que par différentes méthodes décrites dans plusieurs publications relatives aux économies d'énergie, 20 % de la consommation susmentionnée (275 PJ/an) puissent être économisés chez l'utilisateur (de plus, il serait

recommandé de réduire l'utilisation de l'électricité pour les différents besoins de chauffage des locaux et de l'eau sanitaire). Les 80 % restants, soient 220 PJ/an, seraient répartis, par exemple, de la manière suivante :

- 100 PJ par des chaudières existantes
- 20 PJ par le chauffage électrique (surtout pour les besoins des cuisines)
- 50 PJ par du chauffage à distance
- 50 PJ par des pompes à chaleur

Dans ces conditions, les besoins en huile légère et en autres combustibles équivalents peuvent être réduits à environ 60 % de la consommation actuelle. Il en est de même en ce qui concerne le coût mentionné des importations actuelles de pétrole d'au moins 2 milliards de francs.

En plus, une fraction considérable (une moitié au maximum) de ces 60 % pourrait être satisfaite par d'autres combustibles à la place de l'huile légère (huiles lourdes, combustible nucléaire, etc.).

La puissance électrique des centrales nécessaires pour un tel programme ne dépasserait pas 1 GW, puissance correspondant environ à 8 % de la puissance installée actuellement en Suisse. Ceci est valable à condition que l'eau de surface

³ 1 PJ = 10¹⁵ J.

ou de la nappe phréatique soit utilisée pour la plupart des installations de PAC et qu'une partie considérable de l'énergie électrique nécessaire pour l'entraînement des PAC soit utilisée en dehors des heures de pointe. En outre, la puissance supplémentaire susmentionnée pourrait fournir davantage d'énergie électrique aux autres utilisateurs pendant les heures de pointe.

La réalisation d'un tel programme n'est certainement pas facile et dépend de beaucoup de conditions. Les moyens techniques nécessaires sont toutefois disponibles.

7. Conclusions et commentaires

Avec l'évolution de la situation énergétique mondiale, les pompes à chaleur joueront un rôle de plus en plus important en Suisse.

Toutefois, certaines mesures permettraient un développement plus rapide :

- Garantie plus étendue et contrat d'entretien par les fournisseurs et/ou installateurs.
- Prise de position de l'Etat vis-à-vis des problèmes liés à l'utilisation de la chaleur des ressources hydrologiques comme sources froides pour les PAC.

Eventuellement, mesures d'encouragement prises par l'Etat.

- Mesures d'encouragement de la part des entreprises électriques (taxes de raccordement adaptées aux possibilités d'utilisation de l'énergie en dehors des périodes de pointe).

D'autre part, un certain groupement des installations entraînerait les avantages suivants :

- localisation des installations dans les endroits favorables sur le plan hydrologique : la solution des problèmes liés à la captation de l'eau est alors possible (diminution du nombre de puits, surveillance, meilleure utilisation de l'eau, etc.) ;
- distribution d'énergie électrique simplifiée ;
- réduction des investissements par logement (machine, installation de captage) ;
- meilleures performances grâce à l'effet de taille.

Par contre, le réseau de distribution de la chaleur nécessiterait des investissements supplémentaires et entraînerait certaines pertes de chaleur.

Terminons en rappelant que l'évolution actuelle de notre consommation en huile de chauffage conduit à une insécurité croissante quant à notre approvisionnement et provoque une atteinte impor-

Bibliographie

- [1] J.-J. MORF et M. ROUX : *Situation énergétique de la Suisse*. Bulletin ASE 67 (1976).
- [2] Sulzer Frères SA : *Städtefernheizung*. EDMZ Verlag (1974).
- [3] C. E. LIND : *Experiences with district heating in Sweden*. Fernwärme Schweiz, Institut G. Duttweiler, février 1977.
- [4] L. SILBERRING : *The Heat Pump*. Europhysics News, 8 (1977) 9.
- [5] A. E. HASELER : *Quantified contribution of district heating to energy conservation*. Report No 1/4, Conférence Internationale du chauffage urbain, Varsovie 1976.

tante à notre environnement. Bien que la PAC ne soit pas sans effet sur notre milieu, elle a l'avantage de réduire la pollution de l'atmosphère par une limitation de la consommation des combustibles utilisés actuellement pour le chauffage. Une généralisation des PAC en Suisse nécessite des investissements importants qui peuvent être toutefois, selon

Annexe A (fig. 4)

Flux d'énergie pour différents systèmes de chauffage

Quatre exemples de différents systèmes de chauffage sont représentés schématiquement sur la figure 4. Pour chaque cas, la puissance maximale de chauffage est de 10 kW, ce qui correspond à une fourniture annuelle d'énergie-chaleur d'environ 72 GJ. Ces chiffres peuvent être considérés comme typiques pour une maison individuelle bien isolée et équipée d'un bon système de ventilation.

Le système A représente le chauffage individuel ou collectif à huile légère. Ce cas, le plus répandu en Suisse actuellement, nous sert de comparaison. Un rendement moyen sur une année de 70 % a été considéré pour la chaudière. Ce chiffre a été admis dans les statistiques publiées par l'Office fédéral pour l'économie énergétique et peut être considérée comme optimiste. Selon d'autres publications [5] les rendements en

question ne s'élèvent souvent qu'à 40 % seulement.

Dans le système B, l'énergie électrique est transportée entre la centrale et l'utilisateur par le réseau existant, puis transformée directement en chaleur.

Mais l'énergie électrique peut être mieux utilisée (systèmes C et D). Dans le système C, l'énergie électrique est transportée jusqu'à l'utilisateur, comme pour le système B, mais cette énergie est alors utilisée pour l'entraînement d'une PAC. Cette dernière permet non seulement de transformer l'énergie électrique en énergie thermique, mais aussi d'ajouter au flux de cette dernière un second flux important provenant d'une source froide. L'efficacité moyenne annuelle (coefficient de performance) d'une telle pompe est supérieur à 3, si l'eau est disponible comme source froide, et si le système de chauffage est

conçu pour une température modeste de l'eau de chauffage.

L'utilisation des combustibles fossiles ou nucléaires peut être encore améliorée par l'application du système D, dans lequel une centrale thermique fournit simultanément l'énergie électrique et thermique.

Cette dernière est transportée par un réseau d'eau surchauffée jusqu'aux utilisateurs concentrés à proximité de la centrale. Quant à l'énergie électrique, elle alimente le réseau auquel peuvent être raccordés, entre autres, les PAC situées aux endroits plus éloignés de la centrale.

Le même système D peut être réalisé sur une petite échelle pour les besoins individuels, en utilisant un moteur Diesel au lieu d'une centrale thermique. La répartition des flux d'énergie est alors similaire. Toutefois, seule l'huile légère peut être utilisée dans ce cas.

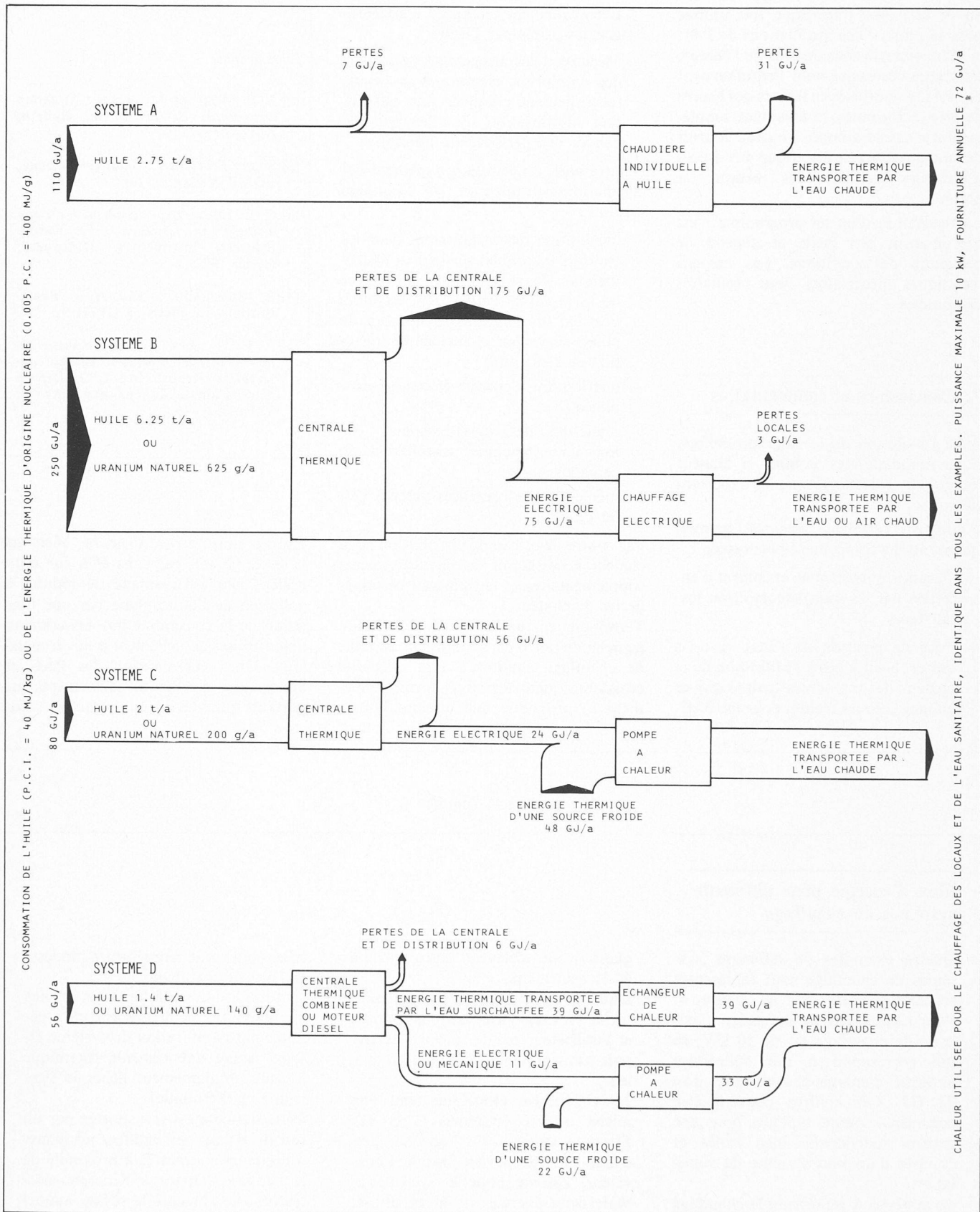


Fig. 4. — Flux d'énergie pour quatre systèmes de chauffage.

l'opinion des auteurs, rapidement amortis par l'économie réalisable sur les importations de pétrole. Le taux d'intérêt sur le capital est relativement faible en Suisse, ce qui favorise toute action dans la direction indiquée. Tous les autres moyens nécessaires à la réalisation du programme décrit ici sont aussi disponibles en Suisse.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le professeur L. Borel, directeur de la présente recherche, de son soutien efficace. Nos remerciements vont également au professeur J.-J. Morf, pour ses remarques constructives.

Adresses des auteurs :

N. Houlmann,
 L. Silberring,
 Ch. Strahm,
 Institut de thermodynamique de l'EPFL
 Halle de mécanique
 1015 Lausanne