

# Pour le bon usage de la chaleur de l'environnement

## **Pour le bon usage de la chaleur de l'environnement Chauffage par pompe à chaleur**

### **Guide pratique pour maîtres de l'ouvrage et architectes**

Pourquoi cette brochure ?

La pompe à chaleur électrique a conquis en Suisse une part de marché considérable en quelques années: alors qu'il y a dix ans, la demande était encore modeste, aujourd'hui, parmi les villas construites, une sur quatre est dotée d'une pompe à chaleur pour le chauffage des locaux. En 1994, ce sont en tout environ 3600 chauffages à pompe à chaleur qui ont été installés, à quoi s'ajoutent les systèmes de production d'eau chaude sanitaire. Ce changement de tendance en faveur des pompes à chaleur contribue grandement à la réalisation des objectifs d'Energie 2000 et c'est avant tout pour cette raison que leur utilisation est soutenue par des subventions dans différents cantons.

Grâce à la possibilité qu'elle offre d'utiliser la chaleur de l'environnement et de fonctionner à l'énergie de haute qualité qu'est l'électricité, la pompe à chaleur est tout indiquée comme système de production de chaleur avantageux sur les plans énergétique et écologique. De plus, son encombrement réduit rend la pompe à chaleur généralement attractive pour de nombreux propriétaires de villas.

Les personnes désirant effectuer le choix d'un système de chauffage se trouvent confrontées à une grande quantité d'informations. Cette brochure a pour but de faciliter l'acquisition d'une vue d'ensemble sur les chauffages à pompes à chaleur, en traitant succinctement le mode de fonctionnement, en présentant les systèmes actuels et en montrant les possibilités d'utilisation. Les architectes désireux de savoir quels sont les points à clarifier avant la mise en place trouvent ici les renseignements nécessaires; il en va de même pour les maîtres de l'ouvrage, désireux d'être informés sur les coûts ainsi que sur les offres de conseils et d'aide indépendantes des fournisseurs.

Edition originale: 3-905232-65-0  
ISBN 3-905232-74-x

1996, 48 pages  
N° de commande 724.260 f

# **Pour le bon usage de la chaleur de l'environnement**

## **Chauffage par pompe à chaleur**

**Guide pratique  
pour maîtres de l'ouvrage  
et architectes**

**Editeur**

Office fédéral des questions conjoncturelles et  
INFOENERGIE

**Auteurs**

Arthur Huber, ing. méc. dipl. EPF, Basler &  
Hofmann, Zurich  
Huber Energietechnik, Zurich

Herbert Mösch, ingénieur énergétique ETS  
Geri Wyttenbach, ing. méc. ETS,  
Pius Hüsser, ingénieur énergétique ETS,  
INFOENERGIE, Brugg

**Rédaction finale**

Margrit de Lainsecq, Oerlikon Journalisten

**Accompagnement du projet**

Dr Charles Filleux, Direction du programme  
PACER, Basler & Hofmann, Zurich

**Graphisme**

Theo Klingele, Lucerne

**Adaptation de l'édition française**

**Traducteur**

Dr Jean-Philippe Borel, ingénieur-conseil, Cully

**Correcteur**

Jean-Claude Scheder, Bercher

**Mise en page, photocomposition et flashage**

DAC, Lausanne et  
CITY COMP SA, Morges

**Coordination générale**

Jean Graf, EPFL-DA-ITB-LESO, Lausanne

Copyright © Office fédéral des questions conjoncturelles,  
3003 Berne, 1996.

Reproduction d'extraits autorisée moyennant l'indication  
de la source.

A commander à l'Office central fédéral des imprimés et  
du matériel, 3000 Berne (N° de commande 724.260 f).

# Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le Programme d'action « Construction et Energie » se compose des trois programmes d'impulsions suivants :

PI-BAT – Entretien et rénovation des constructions  
RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité  
PACER – Energies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Ils doivent favoriser une croissance économique qualitative et, par là, conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Jusqu'ici, si l'on fait abstraction du potentiel hydro-électrique, la contribution des énergies renouvelables à notre bilan énergétique est négligeable. Aussi le programme PACER a-t-il été mis sur pied afin de remédier à cette situation. Dans ce but le programme cherche :

- à favoriser les applications dont le rapport prix/performance est le plus intéressant ;
- à apporter les connaissances nécessaires aux ingénieurs, aux architectes et aux installateurs ;
- à proposer une approche économique nouvelle qui prenne en compte les coûts externes ;
- à informer les autorités, ainsi que les maîtres de l'ouvrage.

## Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Le programme PACER se consacre, en priorité, à la formation continue et à l'information. Le transfert de connaissances est basé sur les besoins de la pratique. Il s'appuie essentiellement sur des publications, des cours et d'autres manifestations. Les ingénieurs, architectes, installateurs, ainsi que les représentants de certaines branches spécialisées, en constituent le public cible. La diffusion plus large d'informations plus générales est également un élément important du programme. Elle vise les maîtres de l'ouvrage, les architectes, les ingénieurs et les autorités.

Le bulletin « Construction et Energie », qui paraît trois fois par an, fournit tous les détails sur ces activités. Ce bulletin peut être obtenu gratuitement sur simple demande. Chaque participant à un cours ou autre manifestation du programme reçoit une publi-

cation spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues en s'adressant directement à la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie » EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

## Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés ; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux écoles ou aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles concernées.

Ce sont également les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités. Pour la préparation de ces activités une direction de programme a été mise en place ; elle se compose du Dr Jean-Bernard Gay, du Dr Charles Filleux, de M. Jean Graf, du Dr Arthur Wellinger ainsi que de Mme Irène Wuillemin et de M. Eric Mosimann. La préparation des différentes activités se fait au travers de groupes de travail, ceux-ci sont responsables du contenu de même que du maintien des délais et des budgets.

Le présent document a fait l'objet d'une procédure de consultation, il a également été soumis à l'appréciation des participants au premier cours pilote. Ceci a permis aux auteurs d'effectuer les modifications nécessaires, ceux-ci étant toutefois libres de décider des corrections qu'ils souhaitaient apporter à leur texte. Des améliorations sont encore possibles et des suggestions éventuelles peuvent être adressées soit au directeur du cours, soit directement auprès de l'Office fédéral des questions conjoncturelles.

Pour terminer nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de la présente publication.

Office fédéral des questions conjoncturelles  
Service de la technologie  
Dr B. Hotz-Hart  
Vice-directeur

# Table des matières

---

<b>1.</b>	<b>L'environnement dispensateur d'énergie</b>	<b>7</b>
1.1	Triplez le rendement !	7
1.2	Fonctionnement interne de la pompe à chaleur	8
1.3	Comment peut-on chiffrer l'efficacité d'une pompe à chaleur	10

---

<b>2.</b>	<b>Le chauffage par pompe à chaleur</b>	<b>11</b>
2.1	Les sources de chaleur	11
2.2	La régulation de puissance de la pompe à chaleur	12
2.3	La distribution de chaleur	12

---

<b>3.</b>	<b>Les fluides frigorigènes et leur impact sur l'environnement</b>	<b>13</b>
-----------	--------------------------------------------------------------------	-----------

---

<b>4.</b>	<b>Quels systèmes sont généralement utilisés</b>	<b>15</b>
4.1	Les pompes à chaleur air/eau en service monovalent et bivalent	15
4.2	Préparation d'eau chaude au moyen de pompes à chaleur	20
4.3	Systèmes de pompes à chaleur saumure/eau	21
4.4	Systèmes de pompes à chaleur eau/eau	23

---

<b>5.</b>	<b>Conseils pour la conception et le déroulement d'un projet</b>	<b>25</b>
5.1	Listes de contrôle pour le maître de l'ouvrage	25
5.2	Procès-verbal de vérification	26

---

<b>6.</b>	<b>Combien coûtent les chauffages par pompe à chaleur</b>	<b>27</b>
6.1	Coûts d'investissement: exemple d'une villa familiale neuve	27
6.2	Coûts d'investissement: exemple de rénovation d'un immeuble d'habitation	29
6.3	La rentabilité	31

---

<b>7.</b>	<b>Glossaire</b>	<b>33</b>
-----------	------------------	-----------

---

<b>8.</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>37</b>
-----------	----------------------	-----------

---

<b>9.</b>	<b>Adresses de contact</b>	<b>39</b>
-----------	----------------------------	-----------

---

	<b>Publications et vidéos du Programme d'action PACER</b>	<b>41</b>
--	-----------------------------------------------------------	-----------

---

<b>Listes de contrôle</b>	pp. 3 et 4 de couverture, fin de brochure	
---------------------------	-------------------------------------------	--

---

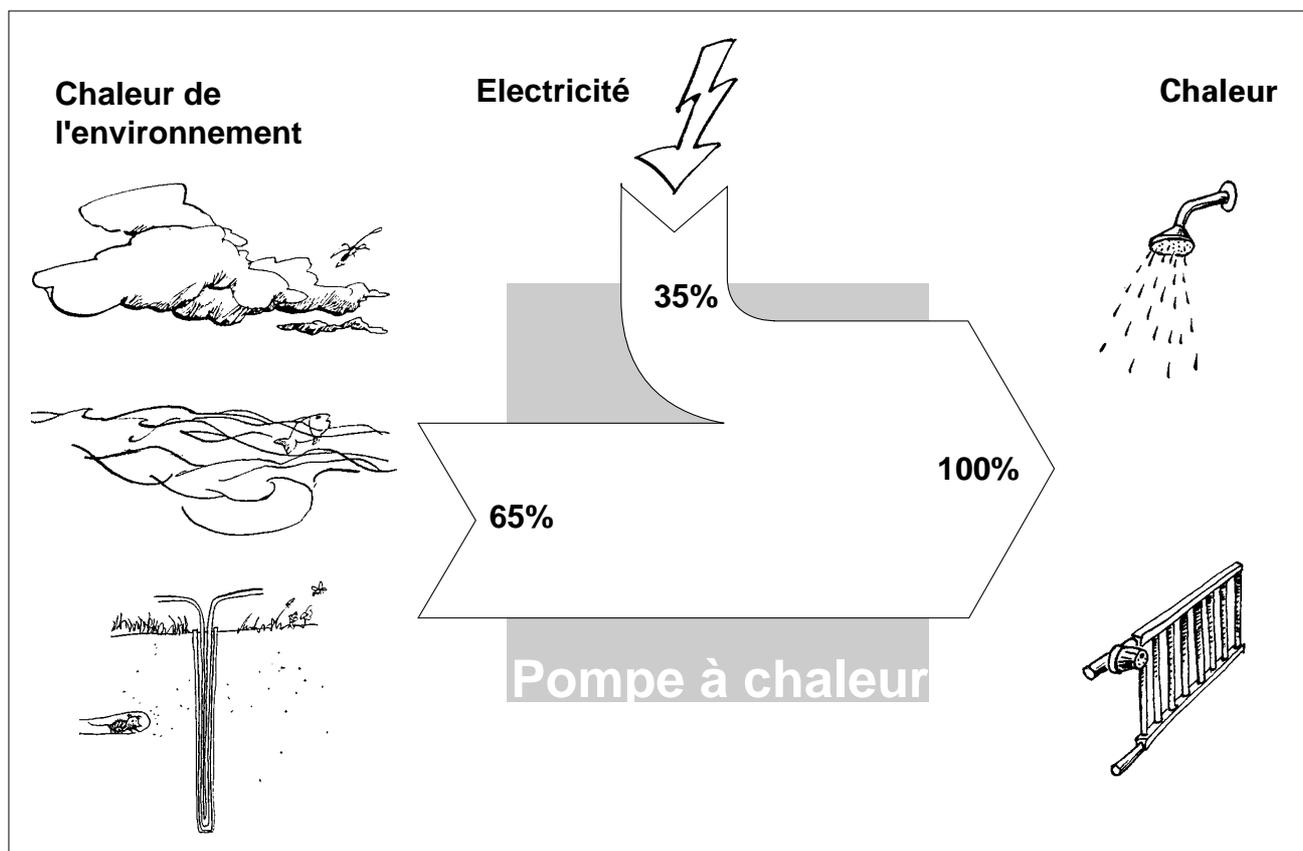
# 1. L'environnement dispensateur d'énergie

Le soleil envoie sans interruption de gigantesques quantités d'énergie vers la terre, qui réchauffent l'air, le sol et les eaux. Cette énergie solaire, accumulée sous forme de chaleur, est disponible en quantités presque illimitées et durant toute l'année. Ces trois sources de chaleur se distinguent toutefois par leur température moyenne annuelle de niveau différent et par leurs fluctuations de température plus ou moins fortes.

## 1.1 Triplez le rendement !

Le rendement de systèmes de chauffage fonctionnant au mazout ou au gaz est toujours inférieur à 100% : la quantité d'énergie utilisable sous forme de chaleur est inférieure au contenu énergétique du combustible. Pour produire 100% de chaleur utile de chauffage, il faut, en règle générale, disposer de 120% de combustible.

Dans le cas des pompes à chaleur, la relation entre l'énergie mise à disposition et l'énergie utilisable est plus favorable : à partir d'un tiers d'énergie d'entraînement sous forme d'électricité, on peut produire 100% de chaleur utile. La pompe à chaleur tire les deux tiers manquants de l'environnement sous forme de chaleur de l'environnement. Dans ce bilan n'ont toutefois pas été considérées les pertes occasionnées lors de la production de courant.

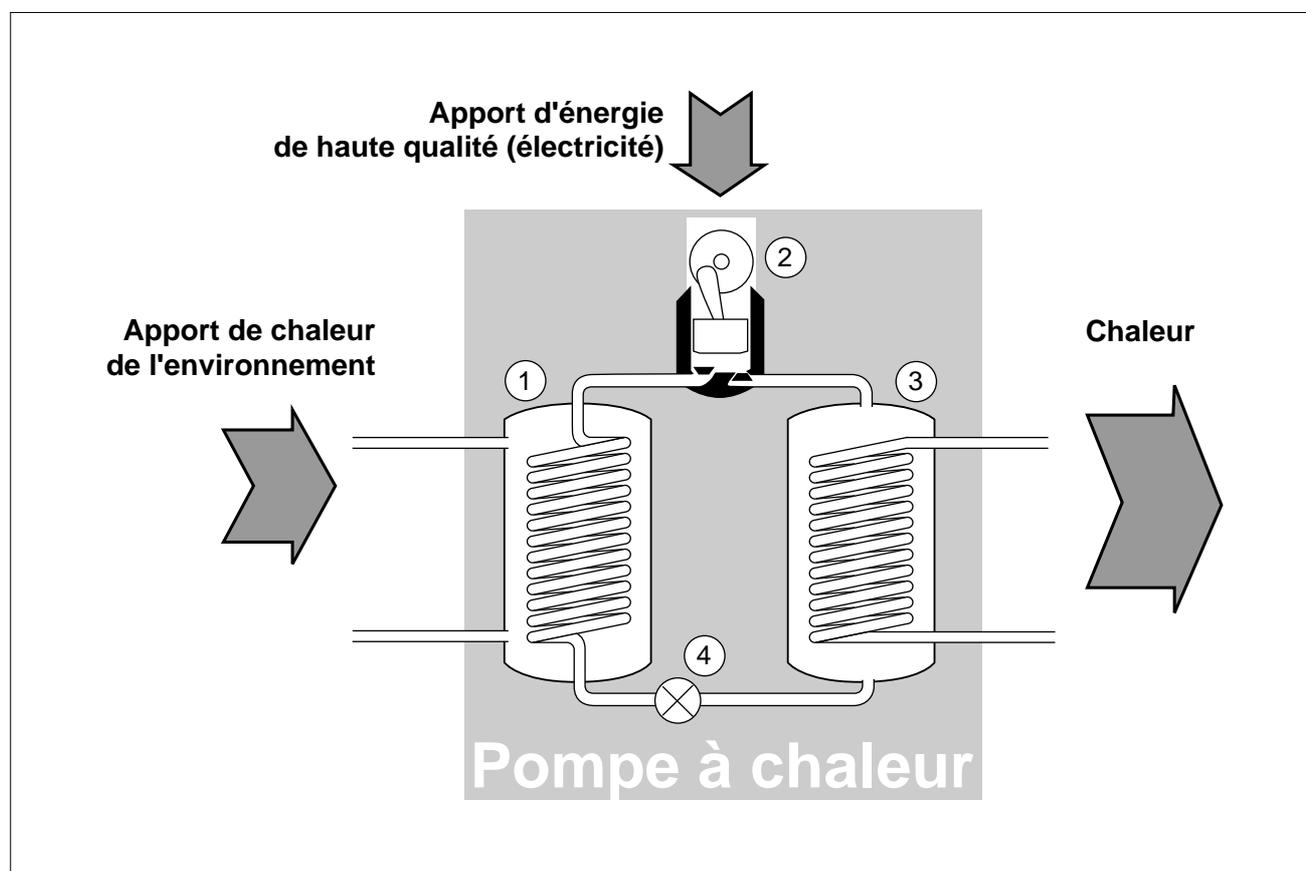


Flux d'énergies dans les pompes à chaleur

## 1.2 Fonctionnement interne de la pompe à chaleur

On trouve de l'énergie même dans l'air froid hivernal, mais elle doit être amenée à un niveau plus élevé de température pour pouvoir servir au chauffage. C'est précisément cette tâche que remplit la pompe à chaleur. Pour cela, il faut disposer d'un évaporateur [1], d'un compresseur [2] et d'un condenseur [3]. Comme moyen de transport de la chaleur, on utilise un médium – ou fluide frigorigène – qui circule en circuit fermé et qui a la propriété de se vaporiser même à de basses températures.

La chaleur fournie par l'environnement – dans notre exemple de l'air à 2°C – amène le médium à ébullition à basse température dans l'évaporateur. Ce médium, alors sous forme de vapeur ou de gaz, est comprimé et réchauffé dans le compresseur. Cette étape de compression nécessite de l'énergie d'entraînement, le plus souvent de l'électricité. Ce processus est comparable au gonflage de pneus de vélo, à la différence que l'énergie d'entraînement est la force musculaire: l'air est comprimé, et la pompe devient chaude. Dans le condenseur, la chaleur est alors cédée au circuit d'eau chaude à une température de 40 à 50°C, grâce au processus de compression. Simultanément, le médium retourne à l'état liquide, est détendu au travers d'une soupape d'expansion [4], et le cycle recommence. Ce processus est par conséquent dénommé cycle thermodynamique.



*Processus thermodynamique dans les pompes à chaleur*

La partie centrale de la pompe à chaleur est constituée par le compresseur. Dans le domaine de puissances convenant aux villas et petits immeubles, on recourt souvent à des compresseurs hermétiques à pistons, qui se distinguent par leur construction compacte, leur faible niveau de bruit, leur montage simple et leur bas prix. Ce type de compresseur a fait ses preuves dans la pratique. Seul désavantage : en cas d'avarie, c'est le compresseur entier qui doit être échangé.



*Compresseur hermétique à piston*

### 1.3 Comment peut-on chiffrer l'efficacité d'une pompe à chaleur ?

Le coefficient de performances indique si une pompe à chaleur travaille efficacement. Il dépend de la température de la source de chaleur, ainsi que de la différence entre cette température et la température de départ du circuit d'eau de chauffage. Plus la température de la source de chaleur est élevée et constante, et plus la température à laquelle la chaleur doit être délivrée est basse, meilleur est le coefficient de performances. Pour cette raison, les systèmes de chauffage au sol ou munis de corps de chauffe de grande surface fonctionnant à des températures inférieures à 45°C, conviennent particulièrement bien à la pompe à chaleur.

**Des coefficients de performances de 2 sont considérés comme mauvais, alors qu'une valeur de 4 est considérée comme très bonne.**

Mais il ne faut pas oublier que la température de la source de chaleur est souvent variable, et que le coefficient de performances ne reflète que l'état de fonctionnement momentané. Si l'on veut utiliser le coefficient de performances pour évaluer et comparer différents systèmes de pompes à chaleur, il est alors nécessaire de définir les conditions d'exploitation (par exemple température de source de 2°C, de distribution de chaleur de 35°C). Le coefficient de performances est en outre une caractéristique importante servant au contrôle des pompes à



*Pompe à chaleur au stand d'essai du Centre de test de Töss*

chaleur selon Euronorm EN 255. En Suisse, le contrôle des pompes à chaleur mises sur le marché est assuré par des spécialistes indépendants au Centre de test de pompes à chaleur de Töss près de Winterthur, exploité par le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GPS) (adresse en annexe).

Pour qui veut effectuer le choix d'une pompe à chaleur, il ne suffit pas de connaître la puissance instantanée: le comportement moyen durant toute la saison de chauffage doit aussi être connu. Cette information est contenue dans le coefficient de performance annuel (COPA), qui représente le rapport entre l'énergie totale consommée annuellement pour l'entraînement et la chaleur délivrée durant la même période, compte tenu des consommations des auxiliaires (par ex. de dégivrage). Une conception soignée et un dimensionnement précis de l'installation garantissent un coefficient de performances annuel élevé et, par conséquent, des frais d'électricité d'un bas niveau. La pompe à chaleur doit être équipée des instruments nécessaires à la détermination de la valeur du COPA. Des exemples de telles valeurs pour différents systèmes de pompes à chaleur se trouvent au chapitre 4.

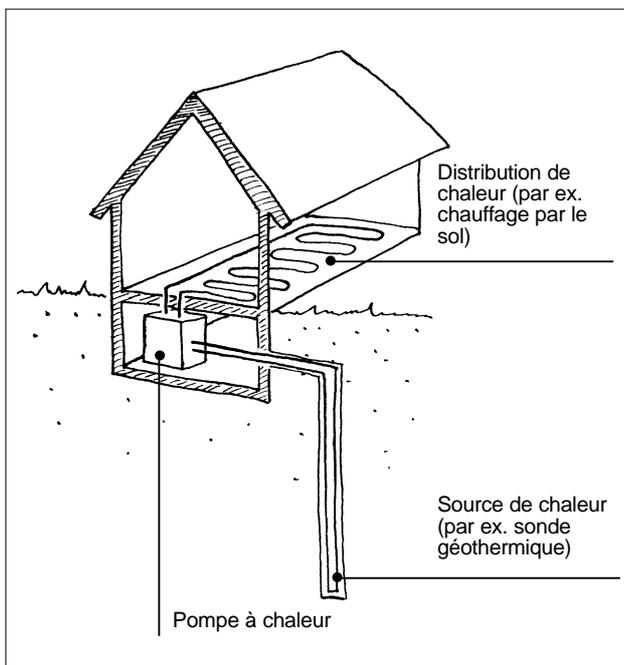
#### **Recommandation**

N'utilisez que des pompes à chaleur contrôlées ! Exigez de l'installateur ou du fournisseur de pompe à chaleur le certificat de contrôle du produit choisi. Les coefficients de performance des pompes à chaleur contrôlées figurent dans le bulletin périodique édité par le Centre de test de pompes à chaleur de Töss-Winterthur.

## 2. Le chauffage par pompe à chaleur

Le chauffage par pompe à chaleur comporte les éléments suivants :

- une source de chaleur,
- une pompe à chaleur,
- la distribution de chaleur,
- la production d'eau chaude sanitaire lorsqu'elle est assurée par la pompe à chaleur.



Le chauffage par pompe à chaleur

### 2.1 Les sources de chaleur

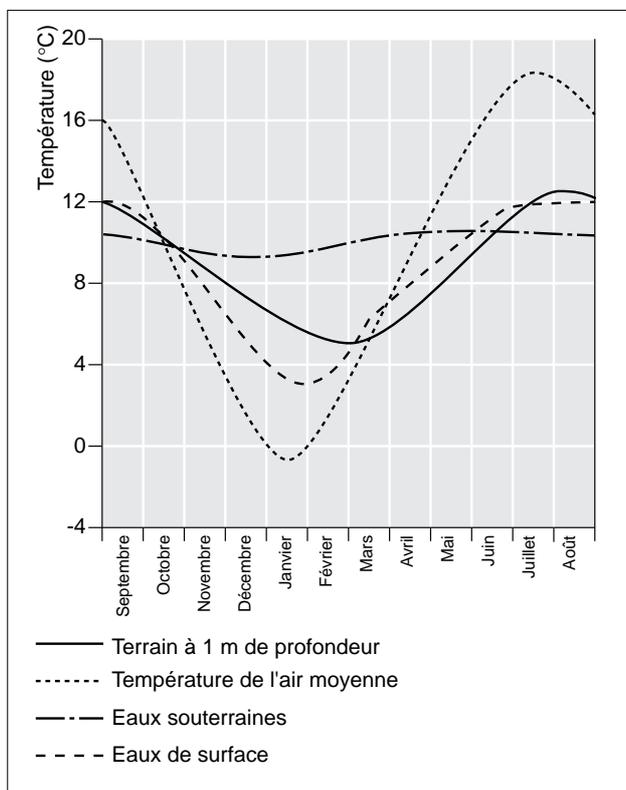
Les sources de chaleur suivantes sont utilisées par les pompes à chaleur :

- la nappe phréatique ou les eaux de surface ;
- le sol ;
- l'air extérieur ;
- les rejets thermiques de processus industriels ou artisanaux.

L'air extérieur peut être utilisé presque partout simplement et sans problème. La nappe phréatique ou les eaux de surface ne sont pas disponibles partout : en outre, leur utilisation est soumise à autorisation, souvent liée à des conditions à remplir. La chaleur accumulée sous terre peut être extraite au moyen de sondes géothermiques (géothermie à faible profondeur). Les collecteurs terrestres – serpentins placés à environ un mètre sous terre – ne sont que rarement installés en Suisse.

Par le fait que l'efficacité d'une installation de pompe à chaleur dépend fortement du niveau et de la constance de la température de la source de chaleur, le choix de la source est donc d'une grande importance. L'air extérieur présente, dans ses variations saisonnières, de grands écarts de température, alors que ces variations sont beaucoup plus faibles pour le sous-sol et l'eau.

On constate également des différences en ce qui concerne la capacité thermique des sources de chaleur. C'est ainsi qu'en refroidissant un m<sup>3</sup> d'eau de 5°C, on peut en extraire 5.8 kWh, ce qui correspond au contenu énergétique de 6 dl de mazout. Pour tirer la même quantité d'énergie de l'air extérieur, il faut abaisser de 5°C la température de 3500 m<sup>3</sup> d'air, ce qui correspond au volume de 3 salles de gymnastique !



Evolution annuelle de la température de différentes sources de chaleur

L'exploitation de systèmes de pompes à chaleur mal adaptées à la source de chaleur disponible a des effets négatifs sur la sécurité de fonctionnement, la puissance et la quantité de chaleur récoltée par l'installation.

## 2.2 La régulation de puissance de la pompe à chaleur

Pour de petites pompes à chaleur, la régulation de la puissance a lieu par mise en, ou, hors service. De plus grandes puissances peuvent être obtenues par combinaison de plusieurs unités de petites pompes à chaleur – pour lesquelles la régulation de puissance a lieu par enclenchement et déclenchement de chaque unité – ou au moyen d'un agrégat de grande puissance à plusieurs cylindres : dans ce cas, l'adaptation à la puissance demandée est effectuée par branchement et débranchement des différents cylindres. La combinaison de plusieurs petits agré-

gats est une bonne solution, par exemple pour un quartier de villas, si l'on ne sait pas au départ combien de maisons seront raccordées au système de chauffage à pompe à chaleur. De nouveaux concepts de régulation font usage de la possibilité de faire varier la vitesse de rotation du compresseur. De cette façon, il est possible d'adapter en tout temps la puissance au besoin momentané. De tels systèmes sont actuellement disponibles, également dans le domaine des faibles puissances.

### L'accumulateur

Pour les systèmes travaillant par enclenchement-déclenchement, il faut éviter des démarrages par trop fréquents, afin que le réseau électrique public ne soit pas surchargé et que la pompe à chaleur ne subisse pas de dommages. Ceci est réalisé au moyen d'un accumulateur (de chaleur) technique (accumulateur tampon), auquel on ne peut renoncer que dans des cas exceptionnels. On recourt à un petit réservoir d'eau, chargé par la chaleur en surplus à certains moments.

Les accumulateurs de chaleur sont plus gros que les accumulateurs techniques et servent généralement à passer sans arrêt de fonctionnement les heures d'interruption de fourniture par les entreprises électriques. En pratique, alors qu'un accumulateur technique suffit généralement dans ce cas, avec un accumulateur de chaleur, on peut utiliser d'autres producteurs de chaleur, comme par exemple des capteurs solaires.

## 2.3 La distribution de chaleur

Les pompes à chaleur conviennent bien pour alimenter en chaleur des systèmes de distribution à basse température. Ces systèmes devraient être dimensionnés de telle manière que la température de départ nécessaire lors de températures extérieures de  $-8^{\circ}\text{C}$  se situe entre  $35$  et  $45^{\circ}\text{C}$ . Ceci est possible sans problème avec un chauffage par le sol, et, également pour des bâtiments bien isolés, avec des radiateurs à grande surface rayonnante. Pour des systèmes de distribution anciens, qui exigent des températures de départ de plus de  $50^{\circ}\text{C}$ , il faut évaluer de cas en cas si le recours à une pompe à chaleur est possible et raisonnable.

### 3. Les fluides frigorigènes et leur impact sur l'environnement

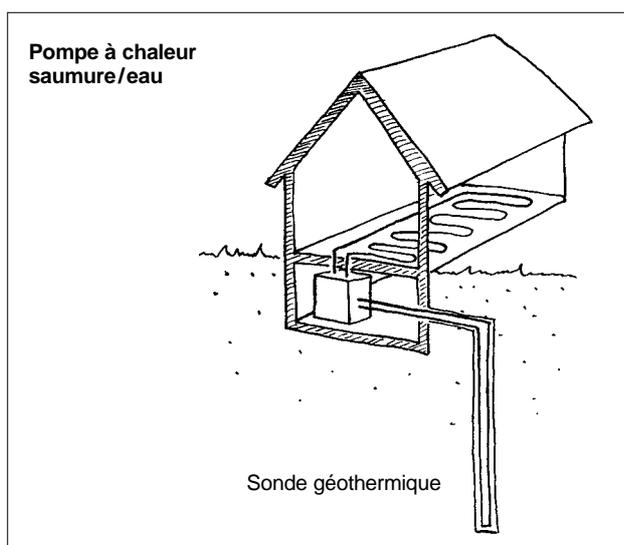
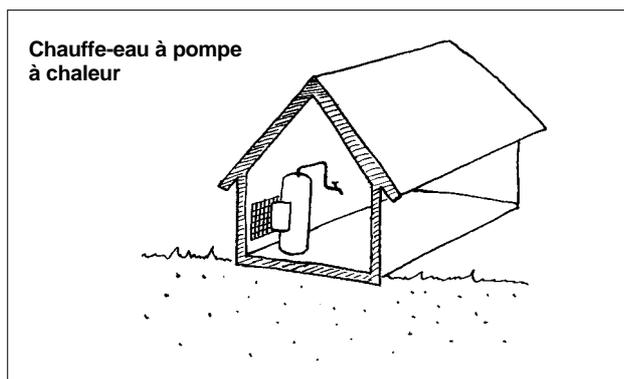
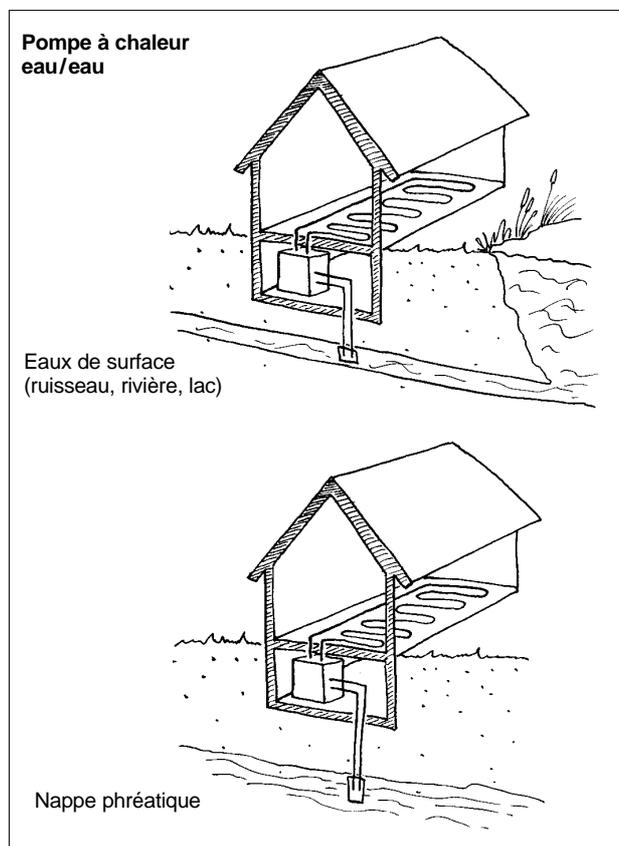
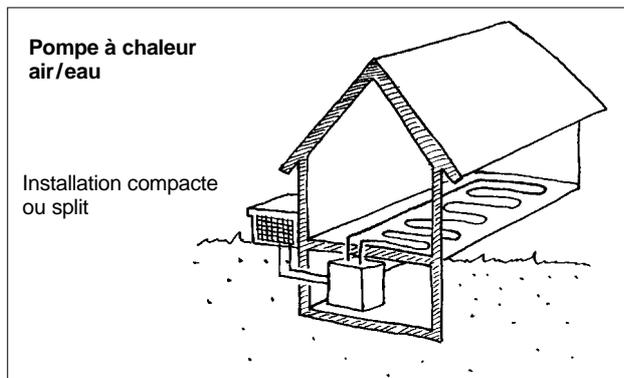
Le fluide frigorigène de la pompe à chaleur assure une tâche importante en tant que médium, en quelque sorte en « transportant » la chaleur du bas niveau de température de la source de chaleur à un niveau plus élevé. Il y a déjà vingt ans que l'on a découvert que les chlorofluorocarbones (CFC) provoquent une réaction conduisant à la destruction de la couche d'ozone. Les fluides frigorigènes concourent également d'une manière significative à l'effet de serre.

Manipulation et autorisation des fluides frigorigènes sont réglés par l'Ordonnance sur les matières dangereuses pour l'environnement, mise en application par le Conseil fédéral en août 1991. Outre l'impact sur l'environnement, il faut également considérer la température de départ du chauffage, lors du choix d'un fluide frigorigène. Suivant la température de fonctionnement, différents fluides pourront convenir. Les R12 et R502, deux CFC halogénés largement répandus dans la technique des pompes à chaleur, sont interdits depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1994 pour de nouvelles installations. Dans le monde entier, l'industrie chimique travaille au développement de fluides de substitution et à leur mise sur le marché aussi rapide que possible. Les fluides de substitution les plus utilisés sont avant tout les fluorocarbones (HFC) tels que le R134a, ainsi que les hydrocarbures tels que l'isobutane (R600a) et le propane (R290). Le R134a présente des propriétés physiques semblables à celles du R12 et constitue donc actuellement le principal fluide de substitution.

Des études effectuées sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie ont montré qu'un échange des fluides frigorigènes dans les installations existantes est possible. Pour les petites installations, une telle substitution a peu de chances d'être réalisée, pour des raisons de coût.

Comme solution provisoire, on utilise maintenant souvent le R22, un HCFC partiellement halogéné, caractérisé par un faible potentiel de destruction de l'ozone, mais toutefois avec un potentiel encore élevé d'augmenter l'effet de serre. Les températures de départ de 45 à 50°C que l'on peut atteindre avec ce fluide sont cependant bien moins élevées qu'avec du R12 ou du R134a. En Suisse, le R22 ne sera plus autorisé pour de nouvelles installations dès l'an 2003. A côté des fluides synthétiques mentionnés jusqu'ici, on trouve également des fluides naturels, tels que l'isobutane et le propane, mais aussi l'ammoniac. Ils présentent l'avantage de ne pas mettre en danger la couche d'ozone et de ne pas contribuer à l'effet de serre. En outre, les effets à long terme liés à leur utilisation sont bien connus. Ces fluides ne sont toutefois que très rarement utilisés pour des systèmes de pompes à chaleur dans le secteur de l'habitation, et c'est pourquoi nous ne les étudierons pas plus en détail. Des informations complémentaires peuvent être obtenues auprès de l'Office fédéral de l'environnement, les forêts et du paysage (OFEP) à Berne (adresse en annexe).

## 4. Quels systèmes sont généralement utilisés?



### 4.1 Les pompes à chaleur air/eau en service monovalent et bivalent

66% des pompes à chaleur installées en Suisse utilisent comme source de chaleur l'air extérieur. Il est disponible partout et d'un emploi plus facile que toutes les autres sources de chaleur de l'environnement; en outre, il n'est pas nécessaire d'obtenir une autorisation pour pouvoir l'utiliser. Par contre, il faut déposer auprès du distributeur d'électricité compétent une demande d'autorisation pour le raccordement d'une pompe à chaleur, ce qui est d'ailleurs également nécessaire pour les autres types d'installations de chauffage électrique.

Les systèmes de pompes à chaleur air/eau – « eau » se rapporte au circuit de chauffage à eau – sont souvent choisis lors de rénovations d'installations de chauffage. Ils se caractérisent par des coûts d'investissement comparativement bas, cependant que les coûts de fonctionnement sont plutôt plus élevés que pour les autres types de pompes à chaleur.

Les facteurs suivants doivent être pris en considération lors de la pose d'une pompe à chaleur air/eau:

1. C'est lorsque la demande de chaleur est la plus élevée que la température de l'air extérieur est la plus basse, ce qui réduit notablement l'efficacité de fonctionnement
2. Par le fait que de la chaleur est prélevée à l'air extérieur par la pompe à chaleur, la température de l'air frais baisse encore. De ce fait, il peut se déposer de la glace sur l'évaporateur, déjà à partir d'une température extérieure de + 6°C, ce qui rend nécessaire un dispositif de dégivrage. Un écoulement doit être prévu pour le condensat.
3. Afin que les grandes quantités d'air nécessaires ne provoquent pas de problèmes de bruit, les sections des canaux d'amenée et d'évacuation de l'air doivent être choisis suffisamment gros et comporter en tout cas des dispositifs de réduction de bruit.
4. Le système adopté et la manière de l'installer (disposition de l'évaporateur à l'intérieur ou à l'extérieur) ont une influence sur l'espace nécessaire à l'installation.

#### Le fonctionnement monovalent

Lorsque la pompe à chaleur couvre tous les besoins en énergie de chauffage d'une maison, alors on parle de régime **monovalent**, alors que si elle n'en couvre qu'une partie, on parle de régime **bivalent**. Dans la mesure où c'est un système de distribution de chaleur à basse température qui est prévu, on peut en général se contenter de la pompe à chaleur air/eau comme seul producteur de chaleur pour des bâtiments neufs bien isolés. Il est possible d'améliorer notablement l'efficacité des installations monovalentes en faisant passer l'air aspiré à l'extérieur au travers d'un lit de galets ou de tuyaux enterrés, avant de le conduire à la pompe à chaleur.

Par le fait que le bois est considéré comme un vecteur énergétique n'augmentant pas la production de CO<sub>2</sub>, et qu'une cheminée de salon peut contribuer fortement à l'agrément d'une habitation, la combinaison d'une pompe à chaleur avec un fourneau à bois est de plus en plus appréciée. Evidemment, la cheminée ou le fourneau de salon n'est pas un système de chauffage central, on ne peut donc pas chauffer uniquement au bois durant

les jours les plus froids, lorsque la pompe à chaleur présente de faibles coefficients de performance. Si la chaleur produite par le bois ne peut pas être distribuée dans toutes les pièces, alors le fourneau à bois fonctionne comme soutien de la pompe à chaleur. Dans la pratique, on a l'habitude de considérer cette variante comme monovalente.

Du point de vue écologique, une variante moins rationnelle consiste à combiner ce fourneau avec un chauffage électrique d'appoint: ce régime est considéré comme «monoénergétique». S'il n'est pas possible de renoncer au chauffage électrique d'appoint, alors il faut veiller à ce qu'il ne s'enclenche pas automatiquement, mais qu'il soit mis en service à la main de manière consciente. La variante monoénergétique n'occasionne que de faibles investissements, mais contribue, durant les jours les plus froids de l'année, à la surcharge du réseau électrique et provoque un abaissement du coefficient de performances annuel de la pompe à chaleur.

#### Le fonctionnement bivalent

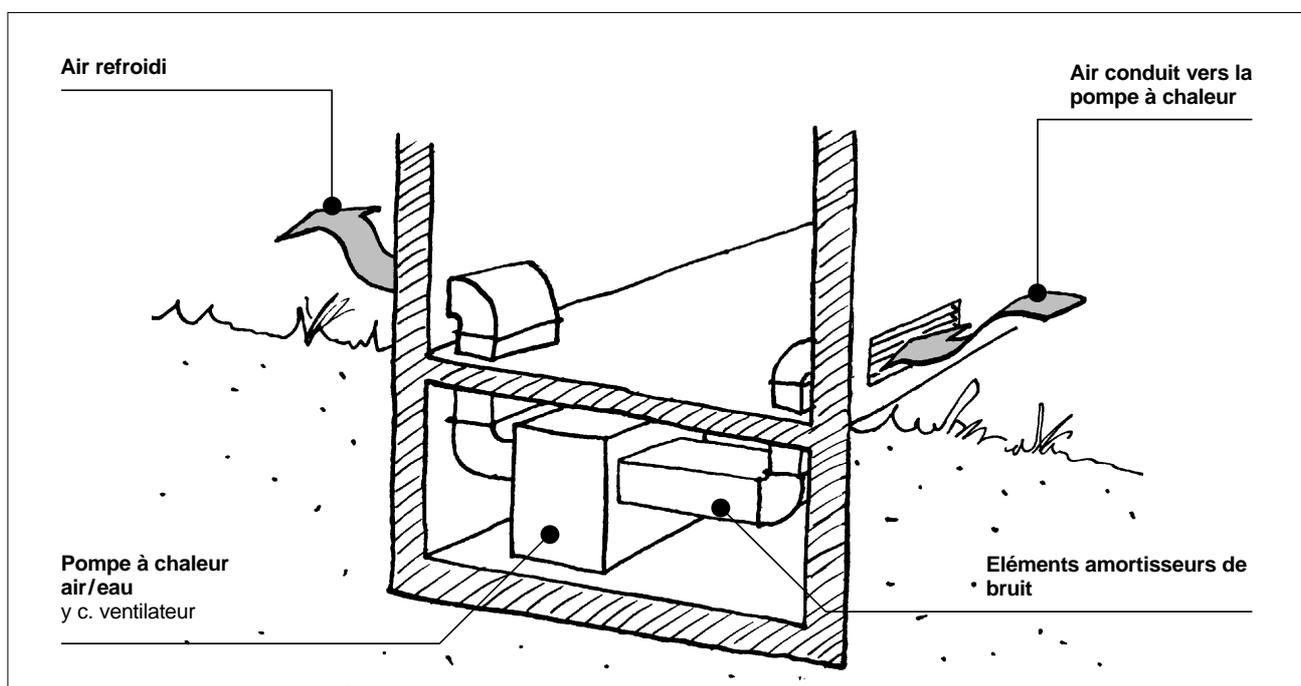
En cas de rénovation d'installations de chauffage, la température de départ choisie représente un critère de choix décisif: si celle-ci est supérieure à 50°C (pour des anciennes installations), alors un fonctionnement monovalent de la pompe à chaleur n'est pas possible. En régime bivalent, un deuxième producteur de chaleur – souvent une chaudière existante à mazout ou à gaz – apporte son soutien à la pompe à chaleur. A partir d'une certaine température, appelée température de commutation ou de bivalence, le second producteur de chaleur est mis en service pour soutenir la pompe à chaleur ou comme seule source de chaleur. Afin que l'optimum énergétique soit atteint, la température de bivalence devrait se trouver entre +3 et -5 °C. La pompe à chaleur assure, en fonctionnement bivalent, 50 à 80% des besoins totaux en chaleur.

#### Installations compactes

Lorsque l'évaporateur et la pompe à chaleur constituent une seule unité, on parle d'**installation compacte**. Elle est généralement placée dans le local de chauffage et alimentée en air extérieur par un canal d'amenée d'air. Après le prélèvement de chaleur dans l'évaporateur, l'air refroidi est renvoyé à l'extérieur par un canal d'évacuation. Les installa-

tions compactes peuvent être montées et remplies de fluide frigorigène chez le fabricant, prêtes au branchement. Sur place, il suffit alors de veiller au branchement correct des conduites, et d'éviter les problèmes de transmission de bruit solide, en posant une isolation adéquate entre le sol, ou la paroi en béton, et la machine tournante. Un point

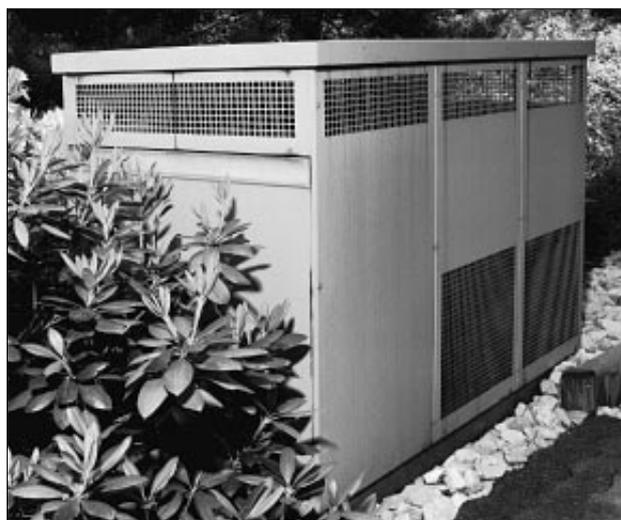
important: au montage, il faut disposer les canaux d'amenée et d'évacuation d'air, respectivement les ouvertures d'aspiration et de rejet d'air en évitant d'aspirer à nouveau l'air qui vient d'être refroidi! L'installation d'éléments absorbant le bruit dans le canal d'évacuation de l'air peut empêcher la propagation de bruits gênants dans la maison.



Coupe à travers un local de chauffage comportant une installation compacte

### Installation en extérieur

En cas d'installation de la pompe à chaleur à l'extérieur, les canaux d'aspiration et de rejet de l'air ne sont pas nécessaires. Le raccordement au réseau d'eau de chauffage a lieu à l'aide de deux tuyaux isolés thermiquement pour l'aller et le retour. Pour le placement de la pompe à chaleur, il faut disposer d'un endroit permettant une libre circulation de l'air, à proximité de la maison, mais pas immédiatement à côté des fenêtres des chambres de séjour ou à coucher (à cause des éventuelles immissions de bruit). Le niveau de bruit provoqué par les appareils est indiqué dans les spécifications techniques.

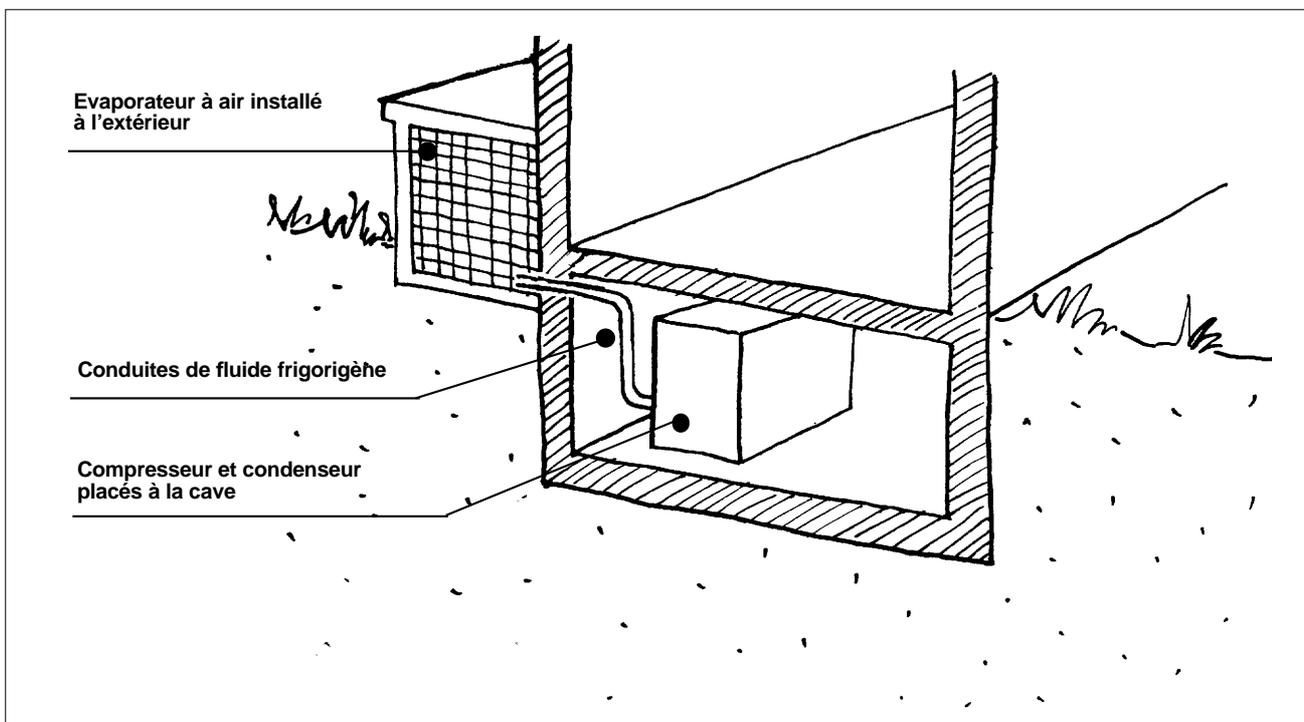


Pompes à chaleur air/eau pour montage à l'extérieur



### Installations split

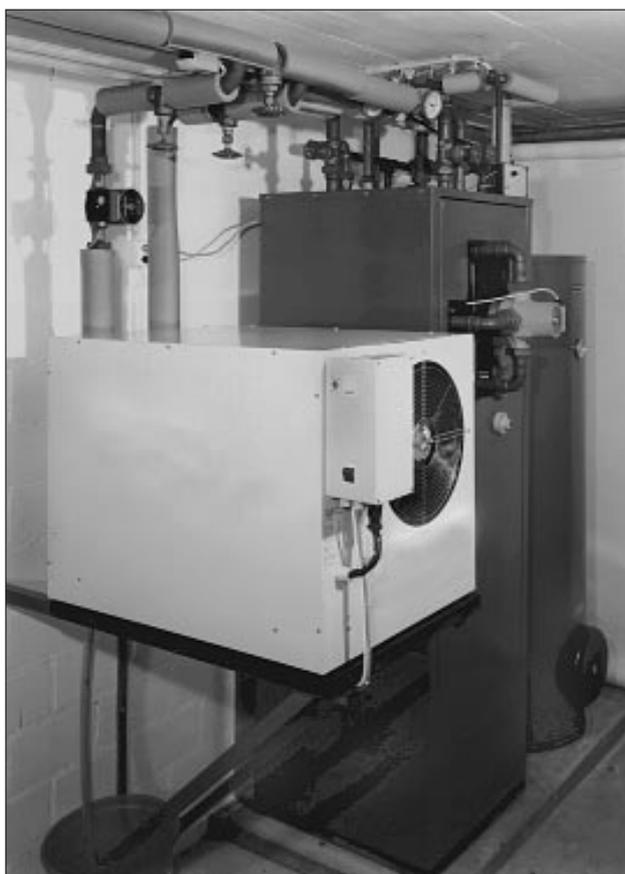
Dans les **installations split**, l'évaporateur est installé séparément à l'extérieur du bâtiment. Dans cette configuration, ce n'est ni de l'air ni de l'eau de chauffage qui circule entre la maison et l'installation extérieure, mais du fluide frigorigène – des mesures constructives compliquées et coûteuses sont évitées par ce moyen. Toutefois, dans ce cas, la pompe à chaleur doit être montée sur place par un spécialiste, qui doit relier l'évaporateur extérieur au compresseur placé dans la maison par une conduite de fluide frigorigène, puis procéder avec soin au remplissage du fluide frigorigène, dont il faut, dans ce cas, une plus grande quantité. Comme site pour l'évaporateur, il convient également de trouver un endroit à proximité de la maison, mais à distance des fenêtres de chambres de séjour ou à coucher, afin d'éviter les gênes provoquées par le bruit.



Installation split

### La pompe à chaleur de faible puissance

La pompe à chaleur de faible puissance se distingue par son faible encombrement, son prix avantageux et son installation simple: une prise normale de 220 V suffit pour alimenter l'agrégat prêt au branchement. A cause de sa faible puissance de chauffage d'environ 4 kW, elle convient bien comme complément à un chauffage existant. Dans une maison bien isolée, dont les besoins en puissance de chauffage s'élèvent à 8 kW, elle peut couvrir jusqu'à 70% de la demande totale de chaleur.



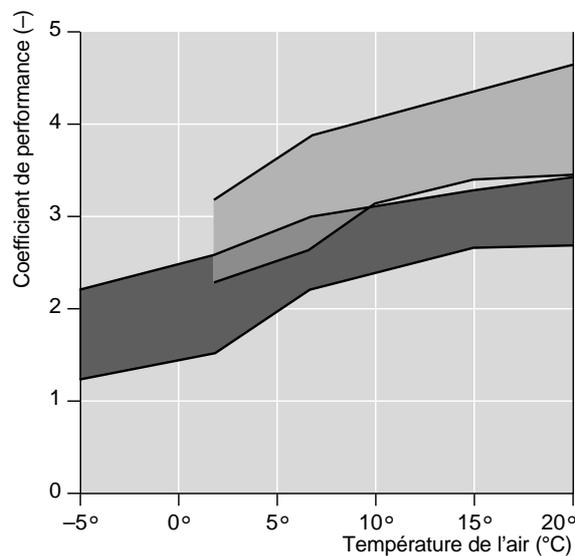
Pompe à chaleur de faible puissance

Le tableau suivant et son diagramme montrent quels sont les coefficients de performance instantanés et annuels atteignables par des systèmes de pompe à chaleur air/eau monovalents, respectivement bivalents.

Type de machine	Coefficient de performance*	Coefficient de performance annuel
Air/eau (monovalent)	2.5 – 2.9	2.0 – 2.5
Air/eau (bivalent)	3.1 – 4.1	2.5 – 3.5

\* valable pour une température de départ de 35°C et une température de l'air extérieur de 2 à 10°C; données provenant du Centre de test de Töss, homologation du 30 juin 1994.

#### Pompe à chaleur air/eau



Dispersion pour différents modèles de pompes à chaleur

■ Température de départ 35°C

■ Température de départ 50°C

Source: Centre de test des pompes à chaleur de Töss

#### Coefficients de performance

## 4.2 Préparation d'eau chaude au moyen de pompes à chaleur

A part le chauffage des locaux, il est en principe possible de couvrir les besoins en eau chaude sanitaire – du moins en partie: la pompe à chaleur élève la température du chauffe-eau à environ 40°C, puis a lieu un post-chauffage électrique. Dans les villas familiales, dont la demande en eau chaude est relativement faible, la production d'eau chaude sanitaire est en général effectuée séparément, afin que la pompe à chaleur puisse être déclenchée en dehors de la saison de chauffage. Dans ce cas, il est possible d'utiliser, comme dans les maisons à chauffage conventionnel, un chauffe-eau à pompe à chaleur. L'appareil, aussi appelé chauffe-eau à faible consommation, utilise également comme source de chaleur l'air extérieur et économise de cette façon environ la moitié de l'électricité consommée par un chauffe-eau conventionnel. Par le fait qu'il s'agit d'un appareil compact, la mise en place et le montage peuvent être effectués sans difficulté. Il est important de prévoir une possibilité d'écoulement pour le condensat qui se formerait, et d'installer le chauffe-eau dans un local non-chauffé, bien isolé thermiquement vis-à-vis des locaux chauffés – sinon, la pompe à chaleur intégrée « vole » de la chaleur. De la même façon que le chauffe-eau électrique, le chauffe-eau à pompe à chaleur fonctionne aux périodes de bas tarif: son coefficient de performances se situe entre 2.5 et 2.8 (air à 15°C, eau à 50°C, le coefficient de performances annuel varie entre 1.5 et 2.0).



Chauffe-eau à pompe à chaleur

### 4.3 Systèmes de pompes à chaleur saumure/eau

Le terme de « saumure » utilisé ici ne désigne pas la source de chaleur primaire, le sol, mais le mélange eau-glycol qui circule dans le circuit fermé entre source de chaleur et évaporateur. La présence de glycol – alcool avec additif antigel – permet de fonctionner également à des températures de source de chaleur inférieures à 0°C.

Parmi les systèmes qui utilisent le potentiel énergétique du sous-sol, les installations à sondes terrestres – le système de pompe à chaleur le plus répandu après les pompes à chaleur air/eau – jouissent d’une grande popularité. Elles peuvent être réalisées presque partout: des limitations n’existent que dans des zones de protection des eaux et de nappe phréatique, ainsi que dans des secteurs dont le sous-sol est formé de gravier ou de sable secs.

#### L’autorisation

Les sondes géothermiques et serpentins sont soumis à autorisation dans la plupart des cantons. Des renseignements peuvent être obtenus, en indiquant le site prévu, auprès des services cantonaux de protection des eaux. Quelques cantons exigent, afin de procéder à une évaluation dans certaines « zones critiques », une expertise géologique sommaire. Pour le raccordement de la pompe à chaleur, il est nécessaire d’obtenir une autorisation du distributeur d’électricité compétent.

#### Détermination de la longueur des sondes

Pour les installations saumure/eau, la détermination correcte de la longueur des sondes géothermiques est d’une grande importance: ce n’est que si elles sont dimensionnées correctement que l’on évitera une surexploitation de la source géothermique: ainsi, les températures du sous-sol autour des sondes pourront se régénérer durant l’été. Dans le sous-sol, il est possible de prélever environ 55W de puissance par mètre de sonde. Si un tiers de la puissance provient de la prise électrique et deux tiers du sol, il faut donc prévoir 12 mètres de sondes par kilowatt de puissance de chauffage. En cas de prélèvement de chaleur durant toute l’année, il est nécessaire de dimensionner plus largement les sondes géothermiques, parce que la puissance spé-



*Grâce à une technique de forage des plus modernes, l’installation de sondes terrestres ne pose aujourd’hui plus de problème*

cifique de prélèvement est plus faible. Un mètre de sonde coûte environ Fr. 70.–. Pour une villa familiale nécessitant 10 kW de puissance de chauffage, il faut donc prévoir deux sondes de 60 mètres chacune, d’un coût d’environ Fr. 8400.– (niveau de prix 1995).

#### Pieux énergétiques

En tant que forme particulière des sondes géothermiques, le pieux énergétique entre en considération lorsqu’il est nécessaire de forer des pieux pour assurer les fondations d’un bâtiment. Une partie des pieux jouent le rôle de sondes géothermiques. Ceux-ci sont intégrés dans le système de pompe à chaleur de la même façon que des sondes conventionnelles.

### Collecteurs terrestres

Les collecteurs terrestres ou registres terrestres n'utilisent pas la chaleur géothermique, mais la chaleur de l'environnement stockée dans les couches superficielles du terrain. A une profondeur de 0.8 à 1.5 mètre – les serpentins placés horizontalement n'atteignent pas une plus grande profondeur – le rayonnement solaire, la pluie et l'influence de l'air extérieur déterminent la température à cette profondeur. Par conséquent, pour ces installations, les conditions climatiques, la configuration du sol et la durée annuelle de fonctionnement constituent des paramètres importants de dimensionnement. Les grandes surfaces nécessaires (la surface couverte par les collecteurs doit être deux à trois fois plus importante que la surface à chauffer), les dépenses importantes qui en résultent et les coefficients de performances annuels plutôt bas sont des raisons pour lesquelles les collecteurs terrestres n'ont été réalisés que rarement jusqu'ici.

### Systèmes ouverts

A côté des installations dans lesquelles un mélange d'eau et de glycol est pompé par une petite pompe, de la sonde vers la pompe à chaleur, puis retourne vers la sonde, il existe aussi des systèmes dits ouverts: ici, c'est de l'eau pure qui sert de fluide caloporteur. Elle est pompée au moyen d'une pompe immergée, placée dans un forage rempli de galets grossiers, puis reconduite, après prélèvement de chaleur, en canalisation ouverte vers le forage. L'eau pure étant utilisée sans antigel, sa température ne peut en aucun cas descendre en dessous de 0°C, ce qui nécessite de forer à 400 mètres. A cause des coûts résultants élevés, ce système ne convient que pour des installations de plus de 100 kW. Grâce à une conception et une exécution correctes, on peut atteindre ainsi des coefficients de performance annuels de 3.5.

### Sondes terrestres à eau pure

Dans certains cas, on exploite également des systèmes fermés avec de l'eau pure. Comme pour les systèmes ouverts, il faut parer au danger de gel à l'aide de sondes de grande profondeur. Il en résulte, si la conception est correcte, de meilleurs coefficients de performance, mais également des coûts d'investissement plus élevés.

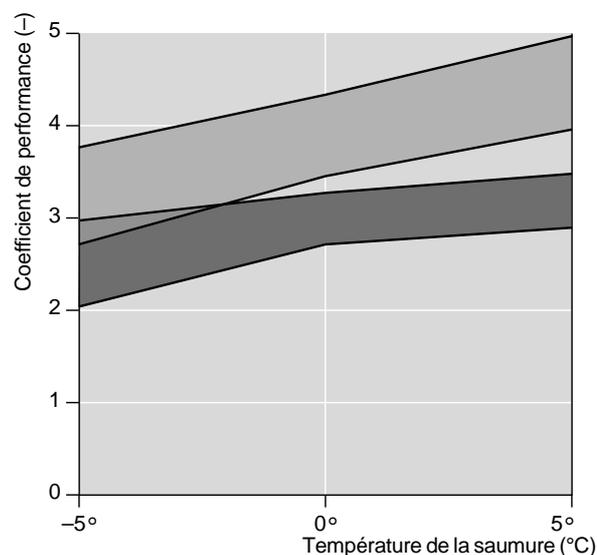
### L'efficacité

Le tableau suivant et son diagramme montrent quels coefficients de performance instantanés et annuels peuvent être atteints avec des systèmes de pompes à chaleur à saumure/eau.

Type de machine	Coefficient de performance*	Coefficient de performance annuel
Saumure/eau (monovalent)	3.8 – 4.3	3.0 – 3.5

\* valable pour une température de départ de 35°C et une température de source de chaleur (saumure) de 0 à 5°C; données provenant du Centre de test de Töss.

### Pompe à chaleur saumure/eau



Dispersion pour différents modèles de pompes à chaleur

■ Température de départ 35°C

■ Température de départ 50°C

Source: Centre de test des pompes à chaleur de Töss

### Coefficients de performance

## 4.4 Systèmes de pompes à chaleur eau/eau

Les systèmes de pompes à chaleur eau/eau ne peuvent être réalisés que là où une nappe phréatique, un lac, une rivière ou un ruisseau adéquats pré-existent. Le Service cantonal de la protection des eaux fournit une réponse à la question de l'autorisation des différentes utilisations, sur la quantité d'eau pouvant être prélevée et du nombre de degrés de refroidissement possibles.

Les systèmes de pompes à chaleur eau/eau sont caractérisés par des coefficients de performance annuels élevés, compris entre 3.5 et 4.0. Malgré cela, une utilisation énergétique des eaux de surface ou de la nappe phréatique n'est rentable que pour une installation de puissance relativement élevée, parce que la procédure d'autorisation, les mesures constructives pour la prise d'eau et sa reddition, ainsi que l'entretien sont relativement coûteux.

Dans des **systèmes dits directs**, un échangeur de chaleur transfère directement au fluide frigorigène de la pompe à chaleur la chaleur potentielle du cours d'eau mis à contribution.

Dans les **systèmes indirects**, par contre, un circuit intermédiaire est «intercalé»: la chaleur utile du cours d'eau ou de la nappe phréatique est – de façon similaire aux installations géothermiques – transférée tout d'abord à un circuit fermé à eau et ensuite seulement au circuit de fluide frigorigène. On atteint généralement des coefficients de performance plus élevés avec des systèmes directs. En contrepartie, on s'expose à un risque plus élevé de pollution de la pompe de circulation et de l'échangeur de chaleur. Il n'est également pas exclu, avec un système direct, qu'en cas de défaut à l'échangeur de chaleur, du fluide frigorigène ne parvienne dans le cours d'eau utilisé. Pour savoir lequel des systèmes sera autorisé dans chaque cas, il faut clarifier ce point auprès des Offices cantonaux compétents.

### Eaux de surface

Si l'on utilise directement une eau de surface, alors cette eau de ruisseau, de rivière ou de lac parvient de la prise d'eau vers l'échangeur de chaleur, pour y être refroidie puis ensuite restituée au cours d'eau.

Le débit d'eau nécessaire par kilowatt de puissance de chauffage dépend de la différence de température de la source de chaleur que l'on peut exploiter. Théoriquement, le refroidissement est limité par le point de congélation: en pratique, c'est la prescription du Service de la protection des eaux compétent qui indique de combien de degrés au maximum le cours d'eau peut être refroidi. Pour une différence de température utilisable moyenne de 2°C, il faut disposer de 310 litres d'eau par heure et par kilowatt de puissance de chauffage.

### Utilisation de la nappe phréatique

Grâce à sa température annuelle élevée et constante, l'eau de la nappe phréatique convient particulièrement bien comme source de chaleur pour de grandes installations de pompe à chaleur. Avec des systèmes directs, l'eau souterraine prélevée est conduite à un échangeur de chaleur et, après prélèvement de chaleur, généralement remise dans un cours d'eau de surface. Si, par contre, il s'agit d'un réservoir d'eau souterraine de faible capacité, ou si l'eau prélevée ne peut être remise directement en surface à cause de sa composition chimique, alors cette eau doit être réinjectée au moyen d'un second forage (forage de réinjection) dans la couche de prélèvement. Pour une différence de température moyenne utilisable de 4.5°C, il faut disposer dans ce cas de 150 litres par heure et par kilowatt de puissance de chauffage.

### Autorisations

Celui qui veut utiliser de l'eau de nappe ou de surface doit obtenir une autorisation du Service cantonal de la protection des eaux. Il est rare que des autorisations soient accordées pour de petits ruisseaux, mais dans de nombreux cantons, l'utilisation de la nappe phréatique est, elle aussi, fortement limitée. Pour l'utilisation de quantités élevées d'eau, il est nécessaire d'obtenir une concession en plus de l'autorisation.

### Chaleur à distance à basse température

Les eaux des lacs, les eaux usées épurées quittant les stations d'épuration ou les sources d'eaux jaillissant dans les tunnels (par exemple dans le tunnel de la Furka) conviennent bien pour l'utilisation énergétique au moyen de pompes à chaleur, malgré leur

température relativement basse mais assez constante. Par le fait que ces eaux sont distribuées par des réseaux de chaleur à distance, on parle de «chaleur à distance à basse température».

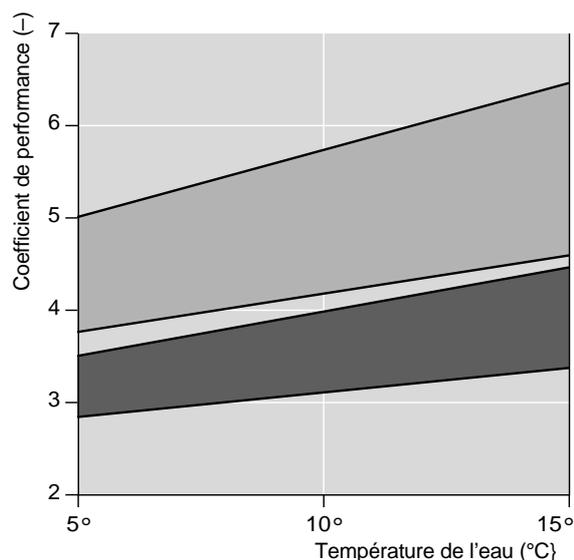
**Coefficient de performance ponctuel et annuel**

Le tableau suivant et son diagramme montrent quels coefficients de performance instantanés et annuels peuvent être atteints avec des systèmes de pompes à chaleur eau/eau.

Type de machine	Coefficient de performance*	Coefficient de performance annuel
Eau/eau (mono-valent)	4.0 – 4.8	3.5 – 4.0

\* valable pour une température de départ de 35°C et une température de source de chaleur de 2 à 10°C ; données provenant du Centre de test de Töss

**Pompe à chaleur eau/eau**



Dispersion pour différents modèles de pompes à chaleur

- Température de départ 35°C
- Température de départ 50°C

Source: Centre de test des pompes à chaleur de Töss

*Coefficients de performance*

## 5. Conseils pour la conception et le déroulement d'un projet

Souvent, celui qui prévoit de réaliser une nouvelle installation de chauffage, et qui a la possibilité de recourir au gaz ou au chauffage à distance, donnera la préférence à ces variantes. En dehors des secteurs réservés au chauffage à distance ou au gaz, une installation à pompe à chaleur se présente comme une option favorable tant vis-à-vis de l'environnement que sur le plan des coûts.

Une conception sérieuse est une condition à remplir pour assurer une exploitation satisfaisante de l'installation. Par le fait qu'une bonne conception exige du spécialiste de plus grandes compétences que le dimensionnement d'une installation conventionnelle, il est important que le maître de l'ouvrage choisisse un partenaire adéquat:

- le concepteur possède-t-il de l'expérience dans la conception de systèmes à pompes à chaleur?
- l'installateur peut-il présenter des installations de référence?

N'hésitez pas à poser des questions sur ces points et à vous renseigner auprès de possesseurs d'installations sur les expériences faites avec leur installation de chauffage par pompe à chaleur. Avant d'attribuer un mandat, il vaut la peine de vous rendre auprès du centre de conseil en énergie de votre région, qui offre des conseils indépendants des fabricants.

S'il s'agit d'une rénovation de l'installation de chauffage, il est alors nécessaire de se procurer, en vue de la conception, les données nécessaires concernant les variations de température extérieure, ainsi que les températures de départ et de retour du chauffage. Vous disposerez de séries de données complètes en effectuant ces relevés chaque jour durant une saison de chauffage.

**En ce faisant, il faut veiller** à ne pas mesurer la température extérieure coté soleil, et contrôler que l'installation de chauffage se trouve, au moment du relevé de la température, en régime normal de fonctionnement, ce qui n'est pas le cas durant le fonctionnement nocturne réduit ou peu de temps après le passage en régime de jour, tôt le matin. Si votre installation de chauffage ne comporte pas d'indicateurs de températures de départ et de retour, alors il vaut la peine d'en poser (ce qui n'est pas très coûteux).

### 5.1 Listes de contrôle pour le maître de l'ouvrage

Il n'y a pas vraiment de règles générales pour la procédure de conception d'installation de pompe à chaleur – chaque solution doit être adaptée à la situation locale. Par contre, il y a une série de questions qu'il est nécessaire de régler dans chaque cas: elles permettent de répondre clairement à la question du choix du type d'installation convenant le mieux à vos besoins. Ces questions sont réunies ici pour le cas des installations neuves et des rénovations d'installations de chauffage.

Afin d'en simplifier l'utilisation ou la copie, les listes de contrôles figurent au recto et verso de la dernière page de couverture.

## 5.2 Procès-verbal de vérification

Convenez avec l'installateur et en tout cas avec le concepteur de l'installation d'une date de réception dès la fin de l'exécution, et exigez un procès-verbal de vérification détaillé ainsi qu'une formation et introduction soignées à l'utilisation de l'installation. Les schémas du mode d'emploi devraient correspondre à l'installation réalisée. Dans la mesure où il s'agit d'une nouvelle construction, faites-vous confirmer par l'installateur que l'ensemble de l'installation a subi un équilibrage hydraulique.

En effectuant une comptabilité énergétique périodique, vous pouvez contrôler si le système de pompe à chaleur se situe dans les limites de performances convenues. Des irrégularités peuvent être détectées rapidement et éliminées. Une simple comptabilité énergétique comporte, chaque fois avec date et heure de relevé, des indications sur:

- la production de chaleur
- la consommation d'électricité
- les heures de fonctionnement de la pompe à chaleur
- les températures de départ et de retour du chauffage
- la température extérieure.

## 6. Combien coûtent les chauffages par pompe à chaleur?

Alors que les coûts de fonctionnement peuvent être calculés à l'avance avec une assez grande précision (chapitre 6.3), les coûts d'investissement des systèmes de pompe à chaleur varient suivant la source de chaleur choisie, la grandeur de l'installation et le site. Nous indiquons, sur la base de deux exemples réalisés, quels sont approximativement les coûts résultants. Les dépenses pour la distribution et la remise de chaleur sont du même ordre que pour des chauffages conventionnels et ne sont par conséquent pas incluses dans la comparaison.

### 6.1 Coûts d'investissement : exemple d'une villa familiale neuve

#### Données concernant cet objet

Type de bâtiment	Villa familiale
Année de construction	1994
Surface de référence énergétique	160 m <sup>2</sup>
Puissance de chauffage à -8°C (température extérieure)	8 kW
Consommation d'énergie	
Chauffage	13 800 kWh par an
Eau chaude	3 300 kWh par an
Indice de dépense d'énergie de chauffage	385 MJ par m <sup>2</sup> et par an

Type d'installation		PAC saumure/eau, monovalente
Utilisation de la source de chaleur par		sondes géothermiques
Production d'eau chaude		toute l'année par pompe à chaleur
Système de chauffage des locaux		chauffage par le sol et radiateurs basse température
Température de départ maximale		45°C
Puissance de chauffage PAC pour	température de départ de chauffage de 45°C et température de source de chaleur de 0°C	9 kW
Coefficient de performance PAC pour	température de départ de chauffage de 45°C et température de source de chaleur de 0°C	3.5
Longueur des sondes géothermiques		105 mètres

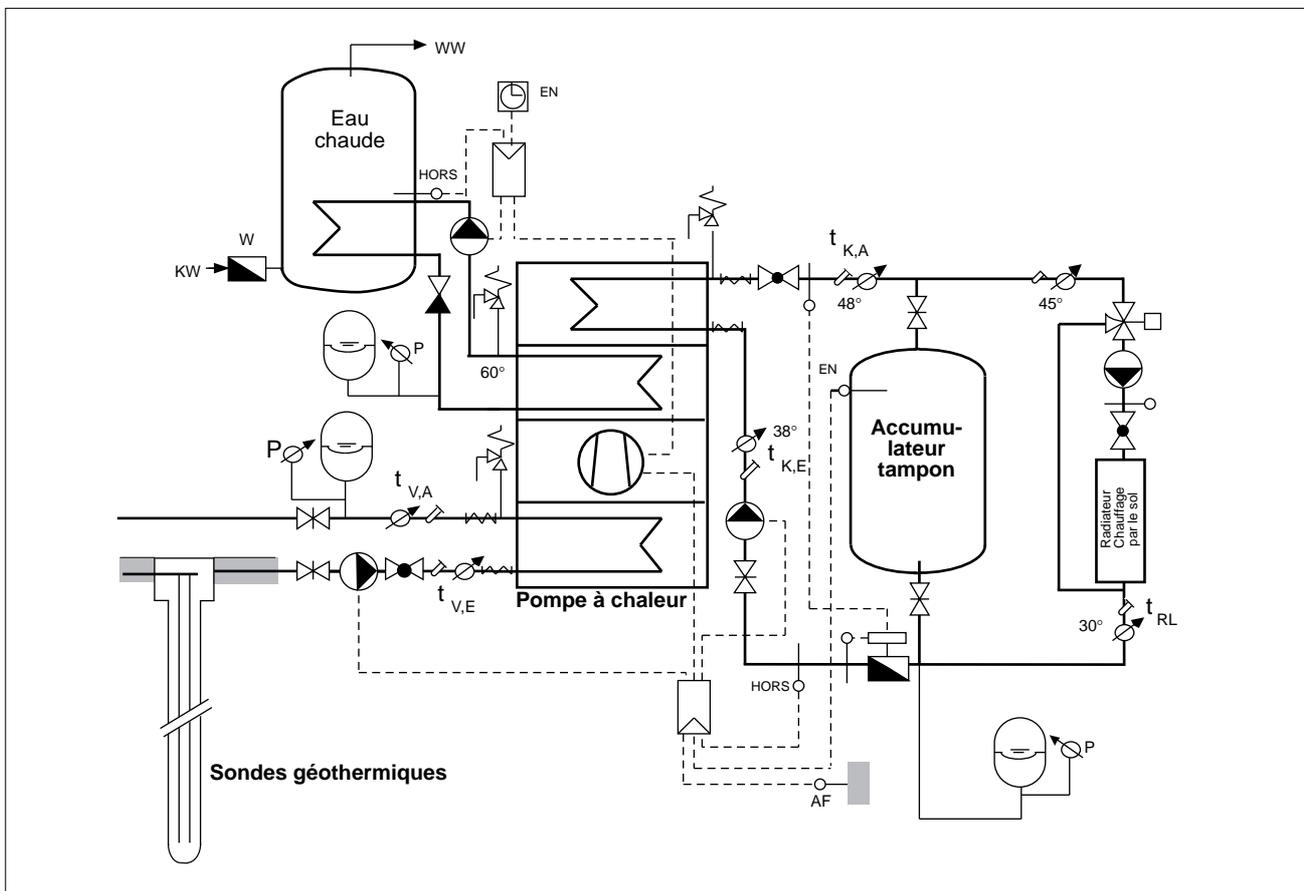


Schéma d'une pompe à chaleur saumure/eau, monovalente

**Coûts d'investissements**  
(Prix de 1995, TVA incluse)

Pompe à chaleur	Fr.	12 000.-
Régulation, commande	Fr.	3 000.-
Sondes géothermiques (Fr. 70.- par mètre courant)	Fr.	7 400.-
Accumulateur	Fr.	3 500.-
Chauffe-eau	Fr.	4 000.-
Honoraires, prestations de services	Fr.	2 000.-
Sanitaire	Fr.	1 000.-
Electricien	Fr.	1 000.-
Equipements de mesure	Fr.	1 500.-
<b>Total des coûts d'investissement</b>	<b>Fr.</b>	<b>34 500.-</b>

## 6.2 Coûts d'investissement : exemple de rénovation d'un immeuble d'habitation

### Données concernant cet objet

Type de bâtiment	Immeuble de 6 appartements
Année de construction	1960
Surface de référence énergétique	720 m <sup>2</sup>
Puissance de chauffage à -8°C (température extérieure)	43 kW
Consommation d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude	110 000 kWh par an
Indice de dépense d'énergie de chauffage	550 MJ par m <sup>2</sup> et an (SIA 380/1, bonnes valeurs pour rénovation)

### Type d'installation

	<b>PAC air/eau, bivalente,</b> avec chaudière à mazout existante	
Production d'eau chaude	toute l'année par pompe à chaleur	
Système de chauffage des locaux	par radiateurs	
Température de départ maximale	70°C	
Puissance de chauffage PAC pour	température de départ de chauffage de 45°C et température de l'air extérieur de 2°C	20 kW
Coefficient de performance PAC pour	température de départ de chauffage de 45°C et température de l'air extérieur de 2°C	2.7

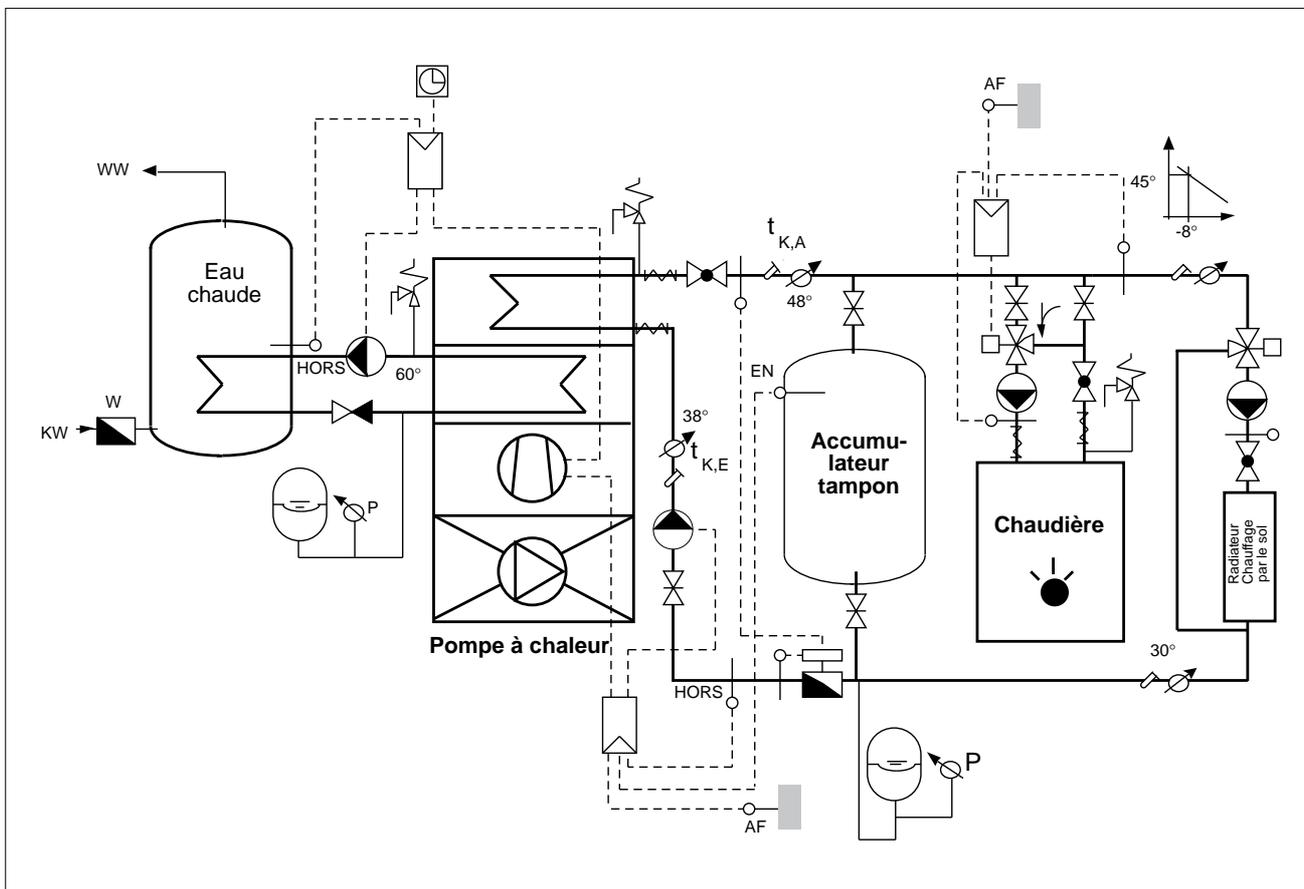


Schéma d'une pompe à chaleur air/eau, bivalente

**Coûts d'investissements**

(Prix de 1995, TVA incluse)

Pompe à chaleur	Fr. 25 000.-
Régulation, commande	Fr. 3500.-
Accumulateur	Fr. 6000.-
Chauffe-eau	Fr. 6000.-
Honoraires, prestations de services	Fr. 4000.-
Sanitaire	Fr. 2000.-
Electricien	Fr. 1500.-
Conducteur de travaux	Fr. 2500.-

**Total des coûts d'investissement Fr. 50 500.-**

**Coûts d'investissement par appartement Fr. 8417.-**

### 6.3 La rentabilité

En cas de construction neuve, en choisissant une pompe à chaleur monovalente air/eau, vous n'aurez besoin ni de cheminée, ni de réservoir à mazout, et de moins de place dans le local de chauffage. En tenant compte de tout ceci, on constate que les coûts d'investissement ne sont pas plus élevés que pour une installation conventionnelle de chauffage. Les frais d'entretien sont en général plutôt moins élevés, parce que le service du brûleur et la révision périodique du réservoir de mazout sont éliminés, et qu'aucun ramonage n'est plus nécessaire.

A part les coûts d'investissement, ce sont les frais d'exploitation qui ont une influence décisive sur la rentabilité d'une installation de chauffage. Actuellement, un kilowattheure de mazout coûte environ 3.5 ct., un kilowattheure d'électricité environ 15 ct. Pour que les frais d'énergie soient les mêmes que pour un chauffage au mazout, un système à pompe à chaleur doit donc atteindre un coefficient de performance annuel de 4. Etant donné que la plupart des systèmes de pompes à chaleur n'y parviennent pas, leurs frais d'exploitation sont par conséquent plus élevés que pour une installation conventionnelle. Certaines compagnies d'électricité fournissent une compensation en offrant des tarifs électriques plus favorables aux exploitants des pompes à chaleur.

#### Surcoûts inventoriés

Afin d'être en mesure d'évaluer complètement un système énergétique, il faut également prendre en considération les coûts relatifs à l'environnement, ce qui n'a toutefois pas lieu dans les modes de calcul de rentabilité pratiqués actuellement. Dès que ceci changera, la compétitivité des systèmes valorisant les énergies renouvelables, telles que la chaleur de l'environnement, s'améliorera, permettant ainsi d'économiser de précieuses ressources.

L'Office fédéral des constructions et certains investisseurs privés intègrent déjà les coûts d'environnement – sous forme des surcoûts inventoriés – dans leurs calculs de rentabilité. **Les suppléments calculés dans le cadre d'une importante étude se montent en 1994 à 5.5 ct. par kilowattheure pour l'électricité, 6 ct. pour le mazout et 4 ct. pour le gaz.** La prise en compte de ces coûts relatifs à l'environnement entraîne que les systèmes de pompes à chaleur air/eau peuvent également être concurrentiels vis-à-vis de systèmes conventionnels, du moins en ce qui concerne les frais d'exploitation. Voici un exemple:

#### Comparaison des coûts d'exploitation entre chaudière à mazout et pompe à chaleur

Coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur		3.5
Rendement de la chaudière à mazout		90%
Demande de chaleur utile		20 000 kWh par an
Coûts d'exploitation sans prise en considération des surcoûts inventoriés:		
Mazout	(22 000 kWh à 3.5 ct./kWh)	Fr. 770.–
Courant PAC	(6000 kWh à 15 ct./kWh)	Fr. 900.–
Coûts d'exploitation avec prise en considération des surcoûts inventoriés:		
Mazout	(22 000 kWh à 9.5 ct./kWh)	Fr. 2000.–
Courant PAC	(6000 kWh à 20.5 ct./kWh)	Fr. 1200.–

Pour des considérations approfondies de rentabilité, nous renvoyons à la publication RAVEL «RAVEL, une économie d'argent – Guide pratique pour les calculs de rentabilité» (disponible auprès de l'EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne, N° de commande 724.397.42.01f). De plus, une série de publications PACER sur ce thème est disponible (voir la bibliographie).

## 7. Glossaire

### A

#### Agent énergétique

Forme matérielle d'énergie. Alors que les **agents énergétiques primaires** apparaissent dans la nature (par ex. bois, charbon, pétrole brut, gaz naturel, eau, uranium), les **agents énergétiques secondaires** (par ex. mazout de chauffage, benzine, électricité) apparaissent par transformation à partir d'énergie primaire. Lors de ce processus, des pertes de transformation se produisent. La forme d'énergie disponible directement pour l'utilisateur est désignée du terme **d'énergie finale**: ce sont, d'une part, des agents énergétiques primaires ne nécessitant aucune transformation (par ex. bois, charbon, gaz naturel), et d'autre part des agents énergétiques secondaires. **L'énergie utile** est l'énergie sous forme directement utilisable (par ex. la chaleur, la force d'entraînement, la lumière).

#### Agent énergétique fossile

Charbon, pétrole, gaz naturel.

### C

#### Caloporteur

Milieu assurant le transport de chaleur: généralement de l'eau, de l'air ou un mélange eau/glycol.

#### Chauffage à résistance électrique

Une résistance électrique, parcourue par du courant électrique, s'échauffe. Le chauffage à résistance électrique fonctionne d'après ce principe, selon deux modes de constructions différents:

1. Accumulateur central à eau ou en céramique comme masse d'accumulation
2. Accumulateurs décentralisés ou chauffages directs par locaux. D'après l'Ordonnance sur l'énergie, les nouvelles installations doivent disposer d'une autorisation dès le 1.5.91.

#### Chauffage de carter

Chauffage du fluide frigorigène pendant les périodes d'arrêt de la pompe à chaleur à compression. Empêche l'huile de pénétrer dans le fluide frigorigène

#### Chauffe-eau à pompe à chaleur

Unité composée d'une pompe à chaleur et d'un chauffe-eau («Boiler») pour le chauffage d'eau sanitaire. Grâce à l'utilisation d'une pompe à chaleur, on économise 50 à 70% de l'électricité par rapport à une installation conventionnelle à chauffe-eau électrique.

#### Coefficient de performance (COP)

C'est une valeur instantanée, qui désigne pour des systèmes à pompe à chaleur le rapport entre puissance délivrée (en kW) et puissance consommée (en kW). De bons coefficients de performance se situent entre 3.5 et 4.5. Ne sont pas compris dans le coefficient de performance les pertes des pompes de circulation, d'accumulation, du dispositif de dégivrage et du chauffage de carter.

#### Coefficient de performance annuel (COPA)

Valeur annuelle moyenne, pour les systèmes de pompe à chaleur, désignant le rapport entre la chaleur de chauffage délivrée (en kWh) et l'énergie consommée payante (en kWh). Le COPA renseigne sur l'efficacité du système; sont considérées comme bonnes des valeurs comprises entre 3.5 et 4. Le coefficient de performance annuel englobe la consommation des pompes de circulation du fluide de la source de chaleur et du système de chauffage, du chauffage de carter et du dispositif de dégivrage. Les pertes énergétiques du systèmes de distribution de chaleur ne sont par contre pas comprises.

#### Compresseur Scroll

Type de construction spéciale convenant bien pour de petites pompes à chaleur à vitesse de rotation variable.

#### Condenseur

Le fluide frigorigène y passe de l'état gazeux à l'état liquide en libérant de la chaleur.

#### Consommation d'électricité

Est généralement mesurée en kilowattheures (kWh). La consommation de mazout peut également être convertie en kWh: 1 litre de mazout = 10 kWh. On rencontre également souvent l'unité Mégajoule (1 kWh = 3.6 MJ).

#### Contrat de thermoleasing (Contracting)

Dans le cadre d'un contrat de thermoleasing, l'entrepreneur construit et exploite l'installation de chauffage, et le propriétaire de l'immeuble s'engage à reprendre la chaleur à un prix fixé par unité énergétique (kWh).

#### Contrôle de succès

Voir exploitation optimale.

#### COP (Coefficient of performance)

Rapport de la puissance de chauffage à la puissance électrique.

## D

### **Distribution de chaleur**

Distribution de chaleur dans le local chauffé par les radiateurs, le chauffage par le sol, etc. Plus la surface de transfert est grande, plus la température nécessaire du système de chauffage est basse. Pour réaliser un système efficace, il faut tendre vers une température de système de chauffage aussi basse que possible (chauffage à basse température) avec une inertie aussi faible que possible.

## E

### **Eau chaude**

Eau sanitaire chauffée.

### **Energie grise**

Energie entrant dans la fabrication d'un produit, et qui n'apparaît généralement pas dans les statistiques énergétiques.

### **Evaporateur**

Elément de la pompe à chaleur. Le fluide caloporteur y passe de l'état liquide à l'état gazeux en absorbant de la chaleur.

### **Exploitation optimale, contrôle des performances**

La période d'environ 2 ans s'écoulant entre la réception proprement dite (remise de l'installation au maître d'ouvrage) et la réception sous garantie devrait être utilisée pour la mise au point de l'exploitation optimale et du contrôle des performances. Ce contrôle effectué avant la fin du délai de garantie, assure à l'exploitant un fonctionnement parfait de l'installation. Par le fait que l'exploitation optimale et le contrôle des performances ne sont pas encore réglés de façon contractuelle à ce jour, ceux-ci doivent être réclamés expressément et honorés par le maître de l'ouvrage.

### **Exploitation bivalente de pompe à chaleur**

A côté de la pompe à chaleur fonctionne encore un second producteur de chaleur pour la couverture des pointes lors de basses températures extérieures (la plupart du temps une chaudière conventionnelle).

## F

### **Fluide frigorigène**

Fluide caloporteur de la pompe à chaleur.

## I

### **Indice de dépense d'énergie chaleur**

Demande de chaleur pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire par année et mètre carré de surface d'habitation. Valeurs en Mégajoule par mètre carré et année (MJ/m<sup>2</sup>a). La valeur cible pour de nouvelles villas familiales est de 385 MJ/m<sup>2</sup>a.

## K

### **Kilowatt (kW)**

Voir puissance électrique.

### **Kilowattheure (kWh)**

Voir consommation d'électricité.

## L

### **L2/W35**

Abréviation courante pour pompes à chaleur air/eau au point de fonctionnement de 2°C pour la température de l'air extérieur et de 35°C de température de l'eau du système de distribution de chaleur.

## M

### **Mégajoule (MJ)**

Voir consommation d'électricité.

### **Médium**

Voir fluide frigorigène.

## P

### **Pompe à chaleur à absorption**

Pompe à chaleur à compression thermique (contrairement à la compression mécanique des pompes à chaleur à compression habituelles). Les premières pompes à chaleur fabriquées de série viendront probablement sur le marché en 1996).

### **Pompe à chaleur à compression**

Forme de construction à compression mécanique la plus répandue actuellement, par opposition à la pompe à chaleur à absorption.

### **Pompe à chaleur (PAC)**

De l'énergie thermique est amenée d'un bas niveau

de température à un niveau plus élevé à l'aide d'énergie de haute valeur (le plus souvent de l'électricité). Ainsi peut-elle être utilisée, par exemple, pour le chauffage des locaux. Les systèmes de loin les plus couramment utilisés sont les pompes à chaleur à compression avec entraînement par moteur électrique. Les pompes à chaleur à absorption sont encore peu répandues en Suisse.

#### **Pompe à chaleur air/eau**

Type d'installation avec l'air extérieur comme source de chaleur et de l'eau comme fluide caloporteur du système de distribution de chaleur.

#### **Pompe à chaleur eau/eau**

Type d'installation avec de l'eau comme source de chaleur (par ex. eau de surface ou de la nappe) et de l'eau comme fluide caloporteur du système de distribution de chaleur.

#### **Pompe à chaleur électrique**

Voir pompe à chaleur.

#### **Pompe à chaleur saumure/eau**

Type d'installation avec de la « saumure » (généralement un mélange glycol-eau) comme fluide caloporteur de la source de chaleur (par ex. sondes géothermiques, serpentins) et de l'eau comme fluide caloporteur du système de distribution de chaleur.

#### **Production de chaleur**

Production de chaleur de chauffage dans une chaudière, une pompe à chaleur, etc.

#### **Puissance électrique**

Est calculée en effectuant le produit de la tension électrique par l'ampérage, et généralement indiquée en kilowatt (kW).

## **R**

#### **Régime de fonctionnement monovalent**

La totalité de la demande de chaleur est couverte par l'installation à pompe à chaleur (pas de nécessité de seconde source de chaleur).

## **S**

#### **Soupape d'expansion**

Réduit la pression du fluide frigorigène entre le condenseur et l'évaporateur.

#### **S0/W35**

Abréviation courante pour pompes à chaleur saumure/eau au point de fonctionnement de 0°C pour la température de l'air extérieur et de 35°C de température de l'eau du système de distribution de chaleur. Ce point de fonctionnement est généralement considéré comme point nominal pour les sondes géothermiques.

#### **Système de pompe à chaleur (chauffage à pompe à chaleur)**

Installation à pompe à chaleur incluant la source de chaleur et le système de distribution (chauffage par le sol, corps de chauffe).

## **W**

#### **W10/W35**

Abréviation courante pour pompes à chaleur eau/eau au point de fonctionnement de 10°C pour la température de la source de chaleur et de 35°C de température de l'eau du système de distribution de chaleur.

## 8. Bibliographie

Département fédéral des transports et de l'énergie [1993]:

**Le chauffage par pompe à chaleur**

Utilise la chaleur de l'environnement, énergie renouvelable sûre, propre et efficace  
Groupe d'action Energies renouvelables  
OCFIM 805.067 d/f/i

T. Baumgartner, H. Gabathuler, H. Mayer, G. Szokody [1993]:

**Pompes à chaleur – Planification et fonctionnement des installations de pompes à chaleur électriques**

Programme d'impulsions RAVEL, OCFIM 724.356 f

H. Gabathuler [1993]:

**Electricité et chaleur  
Données fondamentales**

Programme d'impulsions RAVEL, OCFIM 724.357 f

H. Gabathuler et al. [1991]:

**Electricité et chaleur  
Couplage chaleur-force, pompes à chaleur, récupération de chaleur et utilisation des rejets thermiques**

Programme d'impulsions RAVEL, OCFIM 724.354 f

Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GPS) [1987]:

**Prescriptions sur les pompes à chaleur N° 10**

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP) [1994]:

**Wasserführende Flüssigkeiten**

Guide d'utilisation de la chaleur au moyen de sondes géothermiques en circuit fermé

J. Pikali, R. Spalinger [1994]:

**Wärmepumpen  
Marktführer Schweiz**

Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung (INFEL), Zurich

INFOSOLAR [1981]:

**Pompes à chaleur**

INFOENERGIE, Neuchâtel

Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne [1992]:

**RAVEL une économie d'argent**

Guide pratique pour les calculs de rentabilité.  
Programme d'impulsions RAVEL; OCFIM 724.397.42.01 f

PACER [1994]:

**Externe Kosten von Luftverschmutzung und staatlichen Leistungen im Wärmebereich**

OCFIM, N° de commande 724.270.1 d

PACER [1994]:

**Externe Kosten der fossilen Ressourcennutzung im Wärmebereich**

OCFIM, N° de commande 724.270.3 d

PACER [1994]:

**Coûts externes et surcoûts inventoriés du prix de l'énergie dans les domaines de l'électricité et de la chaleur**

Résumé

OCFIM, N° de commande 724.270.7 f

## 9. Adresses de contact

### INFOENERGIE

Rue de Tivoli 16  
Case postale 24  
2003 Neuchâtel  
Tél. : 038/39 47 26  
Fax : 038/39 60 60

Informationsstelle Wärmepumpen Schweiz  
Centre d'information sur les pompes à chaleur  
Steinerstrasse 37  
Postfach 298  
3000 Berne 16  
Tél. : 031/352 41 13  
Fax: 031/352 42 06

### Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)

Groupement promotionnel suisse pour les  
pompes à chaleur (GPS)  
Lagerstrasse 1  
8021 Zurich  
Tél. : 01/291 01 02  
Fax: 01/291 09 03

### OFEL

Office d'électricité de la Suisse romande  
Rue du Maupas 2  
Case postale  
1000 Lausanne 9  
Tél. : 021/312 90 90  
Fax: 021/320 10 19

### Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen (AWP)

Groupement pompes à chaleur  
Konradstrasse 9  
Postfach 7190  
8023 Zurich  
Tél. : 01/271 90 90

### OFEFP

Division Substances et protection du sol  
Section Produits dangereux pour l'environnement  
Hallwylstrasse 4  
3003 Berne  
Tél. : 032/322 93 11  
Fax: 031/352 12 10

## Liste de contrôle pour une installation neuve

Point à éclaircir	Qui?
<input type="checkbox"/> L'isolation de l'enveloppe du bâtiment est-elle optimisée?	Architecte
<input type="checkbox"/> Un système de distribution à basse température est-il prévu?	Architecte
<input type="checkbox"/> Existe-t-il une possibilité de raccordement au chauffage à distance?	Architecte
<input type="checkbox"/> L'objet se trouve-t-il dans un secteur alimenté en gaz naturel?	Architecte
<input type="checkbox"/> L'utilisation d'eaux de surface ou de nappe est-elle en principe possible?	Architecte
<input type="checkbox"/> Le débit d'eau utilisable est-il suffisant?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Le recours à des sondes géothermiques est-il envisageable?	Conseiller/géologue
<input type="checkbox"/> L'air extérieur est-il envisageable comme source de chaleur?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Type d'installation: installation compacte, placement à l'extérieur, installation split?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Espace disponible dans le bâtiment: où doit être placée l'installation?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> PAC air/eau: l'évacuation du condensat dans le local de chauffage est-elle prévue?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> La puissance de l'alimentation électrique de la maison est-elle suffisante?	Architecte/concepteur Distributeur d'électricité
<input type="checkbox"/> A-t-on tenu compte des immissions de bruit?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> La production d'eau chaude sanitaire est-elle effectuée séparément?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> A-t-on prévu des appareils de mesure de la consommation d'énergie?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> L'entreprise qui offre, resp. fournit la PAC est-elle qualifiée ISO 09001?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> La pompe à chaleur choisie a-t-elle été contrôlée au centre de test de Töss? Le COP est-il correct?	Conseiller/concepteur

### Note

Les informations pour une utilisation éventuelle des eaux de surface ou de nappes phréatiques peuvent être obtenues auprès de la commune du lieu de l'installation ou directement auprès du Service cantonal des eaux.

## Liste de contrôle en cas de rénovation de l'installation de chauffage

Point à éclaircir	Qui?
<input type="checkbox"/> La consommation d'énergie, la puissance de chauffage, les températures de départ et de retour sont-elles connues?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Une réduction de la consommation d'énergie par isolation thermique est-elle possible?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Existe-t-il une possibilité de raccordement au chauffage à distance?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> L'objet se trouve-t-il dans un secteur alimenté en gaz naturel?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> L'utilisation d'eaux de surface ou de nappe est-elle en principe possible?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Le débit d'eau utilisable est-il suffisant?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Le recours à des sondes géothermiques est-il envisageable?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Y a-t-il assez de place et de possibilités d'accès pour un forage?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> L'air extérieur est-il envisageable comme source de chaleur?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Type d'installation: installation compacte, placement à l'extérieur, installation split	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> Espace disponible dans le bâtiment: où doit être placée l'installation?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> PAC air/eau: l'évacuation du condensat dans le local de chauffage est-il prévu?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> La puissance de l'alimentation électrique de la maison est-elle suffisante?	Concepteur/distributeur d'électricité
<input type="checkbox"/> A-t-on tenu compte des immissions de bruit?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> La production d'eau chaude sanitaire est-elle effectuée séparément?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> A-t-on prévu des appareils de mesure de la consommation d'énergie?	Concepteur
<input type="checkbox"/> L'entreprise qui offre, resp. fournit la PAC est-elle qualifiée ISO 09001?	Conseiller/concepteur
<input type="checkbox"/> La pompe à chaleur choisie a-t-elle été contrôlée au centre de test de Töss? Le COP est-il correct?	Concepteur

### Note

Les informations pour une utilisation éventuelle des eaux de surface ou de nappes phréatiques peuvent être obtenues auprès de la commune du lieu de l'installation ou directement auprès du Service cantonal des eaux.