



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et
de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Division Efficacité énergétique et énergies renouvelables

F. Rognon, août 2007
Rév. novembre 2007

La pompe à chaleur en 10 questions

**Réponses à toute personne intéressée à mieux
connaître les pompes à chaleur et leurs applications**



Auteur:
OFEN
Section énergies renouvelables
Responsable du domaine chaleur ambiante, couplage chaleur-force, centrale thermiques 2020,
combustion

F. Rognon

Table des matières

1.	Quelles énergies utilisent et produisent les pompes à chaleur?	3
2.	Quelle est la part de l'énergie renouvelable utilisée avec les pompes à chaleur ?.....	4
3.	Quelle est l'efficacité actuelle des pompes à chaleur?.....	4
4.	Peut-on encore améliorer l'efficacité des pompes à chaleur?.....	4
5.	Est-il possible de chauffer un bâtiment entier en plein hiver en prélevant la chaleur de l'air?.....	5
6.	Les pompes à chaleur sont-elles combinables avec les radiateurs?	5
7.	Combien de courant une pompe à chaleur consomme-t-elle?.....	5
8.	Si elles sont largement répandues et utilisées, les pompes à chaleur vont-elles contribuer à l'importation d'électricité provenant de centrales à charbon?	6
9.	Si l'électricité consommée en Suisse est produite de plus en plus à partir d'énergies fossiles, les pompes à chaleur peuvent-elles encore réduire les émissions de CO ₂ ?	6
10.	Quelle est le potentiel d'application des pompes à chaleur?	7
11.	Liste des abréviations.....	8
12.	Bibliographie.....	8



1. Quelles énergies utilisent et produisent les pompes à chaleur?

Avec environ 30% d'énergie d'entraînement (en général électrique et parfois gaz), les pompes à chaleur fournissent 100% d'énergie thermique pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Elles puisent 70% de chaleur de l'environnement et l'élèvent à une température suffisante pour être distribuée dans le bâtiment. La chaleur de l'environnement est stockée dans l'air, dans l'eau, dans le sol. Ainsi, comme les collecteurs solaires et les chauffages à bois, les pompes à chaleur valorisent des énergies renouvelables, comme le montre l'illustration 1.

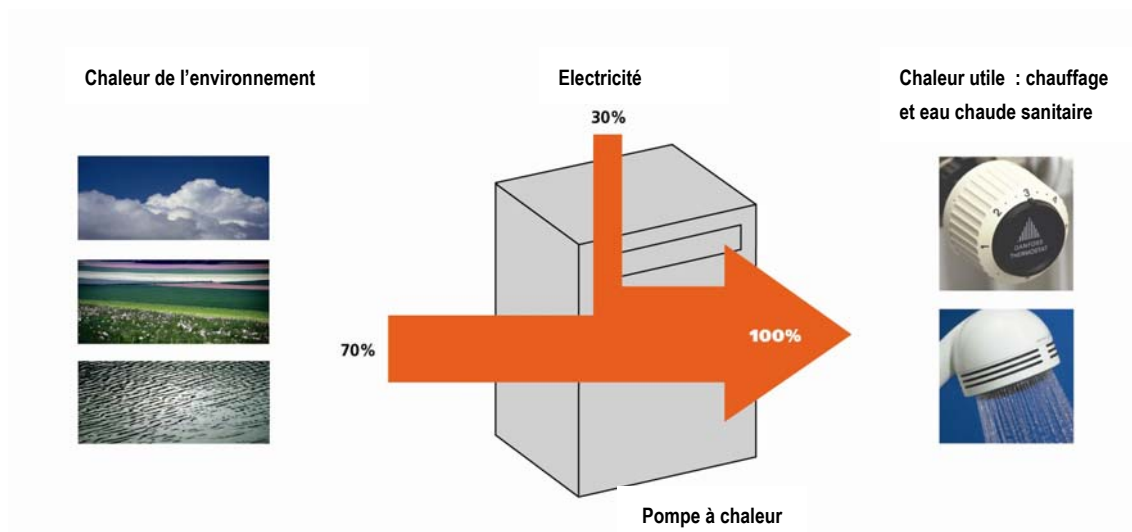


Illustration 1: Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur avec les flux d'énergies.

Comment se renouvelle la chaleur de l'environnement ? Par la géothermie et le soleil.

a) La source de la chaleur de l'air est l'énergie solaire

Sans rayonnement solaire, il n'y aurait pas de précipitations, et l'atmosphère et ses composantes que sont l'air et l'eau (et la vapeur d'eau) ainsi que la surface de la terre se refroidiraient. Le rayonnement solaire est la force qui induit tous les phénomènes qui se produisent dans notre atmosphère, tels que les échanges de chaleur avec l'air, le sol, les eaux de surface, les précipitations, les mouvements des masses d'air et le vent. Du point de vue énergétique, les eaux de surface (lacs, rivières, sources), les eaux souterraines et les eaux usées (qui furent d'abord de l'eau potable) sont renouvelées en permanence par les précipitations.

Les formes d'utilisation du rayonnement solaire les plus connues sont les collecteurs solaires thermiques et les cellules photovoltaïques. Elles utilisent le rayonnement avant que celui-ci n'atteigne la surface de la terre. Il n'est ensuite plus possible de le capter au moyen d'un collecteur, car il a transmis son énergie (sa chaleur) à l'air, au sol, aux eaux (lacs, rivières, etc.).



b) La source de la chaleur du sol est la géothermie

Plus de 99% de la planète se situent à une température supérieure à 1000 degrés. La chaleur qui provient de l'intérieur de la terre, appelée géothermie, rayonne en permanence du cœur vers la surface. Elle fournit aussi une partie de la chaleur qui se trouve dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface.

De la surface à environ 300 mètres de profondeur, la température augmente linéairement jusqu'à 25 °C, soit un niveau de température que seules les pompes à chaleur permettent d'exploiter au moyen de différents types d'installations tels que des sondes thermiques, des pieux, des serpentins et des corbeilles énergétiques.

2. Quelle est la part de l'énergie renouvelable utilisée avec les pompes à chaleur ?

Voici la part de l'énergie renouvelable utilisée pour couvrir les besoins de chauffage des bâtiments et de production d'eau chaude (les chiffres sont arrondis):

- Pompe à chaleur qui exploite la chaleur de l'air: de 60% à 70%
- Pompe à chaleur qui exploite la chaleur de l'eau et du sol: de 70% à 80%

A titre de comparaison:

- Chaudière à gaz + installation solaire: de 10% à 30%
- Chaudière à mazout + installation solaire: de 10% à 30%
- Chaudière à bois: 100%

3. Quelle est l'efficacité actuelle des pompes à chaleur?

L'efficacité est mesurée au moyen du coefficient de performance annuel: celui-ci s'obtient en divisant la chaleur produite par le courant consommé, et la moyenne de ce chiffre est annualisée. Le résultat obtenu varie très fortement en fonction de la température de distribution de la chaleur dans un bâtiment, de la température de la source de chaleur ainsi que du comportement des usagers. Aussi doit-on indiquer plutôt des fourchettes que des valeurs uniques:

- La fourchette actuelle est de 2,5 à 3,5 lorsque la source de chaleur utilisée est l'air.
- La fourchette actuelle est de 3,0 à 5,0 lorsque la source de chaleur utilisée est le sol.

4. Peut-on encore améliorer l'efficacité des pompes à chaleur?

Oui. Si la technologie a atteint sa maturité, son développement n'est pas terminé. Entre 1970 et 2000, l'efficacité a doublé et elle va nettement progresser d'ici 2025, en fournissant des coefficients de performance annuels allant de 4,0 (lorsque la source de chaleur utilisée est l'air) à 6,0 (lorsque la source de chaleur utilisée est le sol). Ensuite, il ne sera certainement guère possible de développer encore la technologie actuellement la plus courante.

Des recherches se font à l'heure actuelle pour développer de nouvelles pompes à chaleur utilisant l'effet magnéto-calorique, dont le coefficient de performance annuel théorique pourrait être compris dans une fourchette de 5,0 à 10,0 (source de chaleur: air).



5. Est-il possible de chauffer un bâtiment entier en plein hiver en prélevant la chaleur de l'air?

Sur le Plateau, oui. A une altitude plus élevée aussi, puisque la température limite de l'utilisation des pompes à chaleur actuelles est de -20°C . En Suisse, les chauffages sont dimensionnés selon les normes de la SIA. Sur le Plateau suisse, la température de dimensionnement habituelle est de -8°C , elle est de -4°C au sud des Alpes. Si l'efficacité d'une pompe à chaleur diminue avec le froid, elle reste toutefois nettement supérieure à 1,0. En effet, habituellement, avec une température de départ de 45°C , l'efficacité est de 2,3 à -7°C et elle est encore de 1,9 à -15°C . Une augmentation de 5°C de la température de départ diminue l'efficacité de 8%.

Selon la norme, la température de 20°C des locaux n'est plus garantie dès lors que la température de l'air extérieur est inférieure à la température de dimensionnement. Mais la remarque vaut pour TOUS les chauffages utilisés en Suisse, pas seulement pour les pompes à chaleur. Il est aussi bon de savoir que le calcul de la norme intègre une certaine réserve, puisqu'un chauffage dimensionné à -8°C couvre les besoins jusqu'à -10°C à -12°C (qu'il s'agisse d'ailleurs d'une pompe à chaleur ou d'une chaudière). Un point reste essentiel: la température de distribution de la chaleur est déterminante.

6. Les pompes à chaleur sont-elles combinables avec les radiateurs?

La limite d'utilisation de la température de départ est actuellement de 55 à 65°C . L'efficacité annuelle (ou coefficient de performance annuel) est alors de 2,0 (air) et de 3,0 (sol). Il faut déterminer si cette température est véritablement nécessaire partout. Un changement de (quelques) radiateurs trop petits permet de diminuer la température de départ, et donc d'accroître l'efficacité (une réduction de 5°C de la température de départ accroît l'efficacité de 8%).

Améliorer l'isolation thermique s'impose également. Cependant, la rénovation des installations de production d'eau chaude peut se faire indépendamment de l'état du bâtiment. Tout comme le remplacement du chauffage: une pompe à chaleur avec un modeste coefficient de performance annuelle de 2,0 permet de diminuer de 20% les émissions de CO_2 (cf. point 9 ci-dessous).

7. Combien de courant une pompe à chaleur consomme-t-elle?

Employer une pompe à chaleur représente une utilisation intelligente de l'électricité: celle-ci est en effet démultipliée et non pas divisée. Voici quelques consommations de l'année 2005:

• Consommation de toute la Suisse:	100%
• Brûleurs de chauffages à gaz et à mazout:	1%
• Chauffages électriques à résistances	6%
• Chauffe-eau électriques à résistances :	4%
• Appareils électroménagers:	13%
• Moteurs dans l'industrie:	27%
• Eclairage:	13%
• Trains, tram, transports par câbles	5%

A titre de comparaison:

• 100 000 pompes à chaleur (état fin 2005):	1,3%
• 400 000 pompes à chaleur (but pour fin 2020):	4%

Si l'on remplaçait tous les chauffages électriques à résistances et tous les chauffe-eau électriques, on obtiendrait suffisamment de courant pour faire fonctionner 1 million de pompes à chaleur !



8. Si elles sont largement répandues et utilisées, les pompes à chaleur vont-elles contribuer à l'importation d'électricité provenant de centrales à charbon?

On suspecte très souvent que pour fonctionner, une pompe à chaleur a besoin d'électricité issue de centrales fossiles, dont le rendement électrique est de 33% (valeur limite). Cette hypothèse, qui incarne le pire de tous les scénarios envisageables, fait inévitablement conclure que si son coefficient de performance annuel est inférieur à 3,0, une pompe à chaleur est sans pertinence écologique. Or cette hypothèse n'est pas réaliste.

On part du principe qu'une pompe à chaleur est le plus grand consommateur de pointe, dont les besoins en courant ne peuvent être couverts que par la mise en service de la centrale la moins efficace et la plus polluante qui soit. Cette hypothèse n'est pas adéquate. En Suisse, les pompes à chaleur sont essentiellement fournies en courant interruptible. Elles sont débranchées durant les pointes de consommation et ne contribuent donc pas à ces pointes.

Depuis 1990, l'OFEN s'attache à suivre une stratégie de promotion des pompes à chaleur: les pompes à chaleur sont liées aux couplages chaleur-force (CCF) fossiles¹ et non pas au courant importé. Ainsi, le CCF ne doit pas péjorer le bilan CO₂ de la Suisse. Cette stratégie, qui combine le CCF et les pompes à chaleur, permet d'économiser de 30% à 50% d'énergie primaire pour une production de chaleur utile égale.

Faut-il le rappeler, les pompes à chaleur de Suisse ne requièrent que 1,3% de la consommation nationale d'électricité, tandis que les chauffages électriques à résistances, qui devraient être remplacés surtout par des pompes à chaleur, en consomment à l'heure actuelle malheureusement quelque 6% et les chauffe-eau électriques plus de 4%.

9. Si l'électricité consommée en Suisse est produite de plus en plus à partir d'énergies fossiles, les pompes à chaleur peuvent-elles encore réduire les émissions de CO₂?

L'avancement actuel de la technique permet de répondre catégoriquement oui.

- Si le courant est produit par une installation à couplage chaleur-force (CCF), également appelée centrale à énergie totale équipée (CETE), un coefficient de performance annuel de 1,3 est suffisant.
- Si le courant est produit par une centrale à cycle combiné (CCC), un coefficient de performance annuel de 1,8 suffit.

¹ Les technologies envisageables pour les CCF sont les suivantes: machines à piston avec combustion interne (moteurs à gaz et à diesel), machines Stirling, piles à combustible et turbines. Si les premiers sont plutôt indiqués pour des puissances modestes, de 2 kiloWatt à 1 MégaWatt, pour des raisons technico-économiques, les turbines sont plutôt réservées aux plus grandes puissances, pour les mêmes raisons. Pour les turbines, on peut envisager autant de simples cycles de vapeur (rendement électrique habituel de 20-35 %) que des centrales à turbine à gaz et à vapeur combinée (TAG-TAV, rendement électrique allant jusqu'à 58%).



L'illustration 2 montre la réactivité.

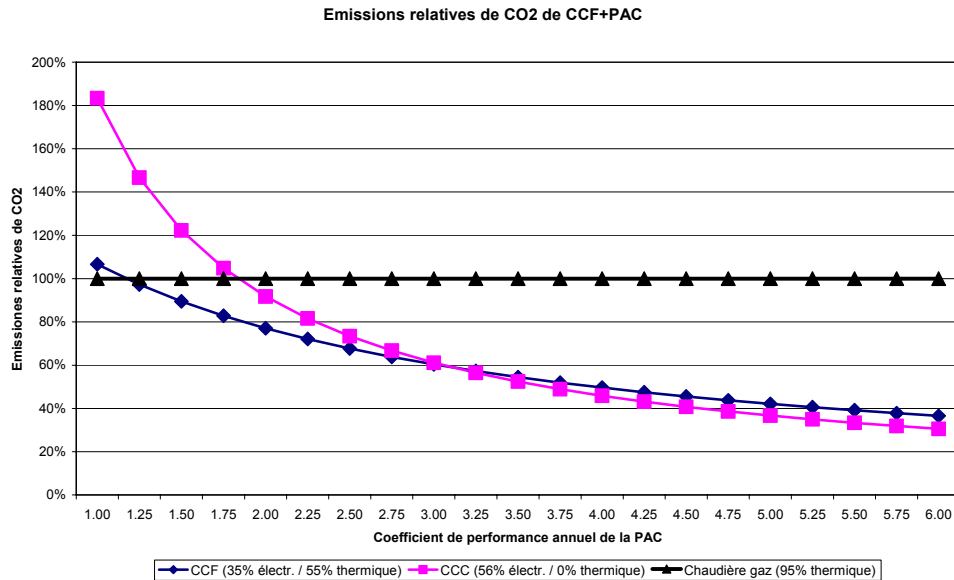


Illustration 2: Emissions de CO₂ de pompes à chaleur fonctionnant avec une électricité produite par une installation à couplage chaleur-force (CCF) ou produite par une centrale à cycle combiné (CCC), par rapport au coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur. Les pourcentages expriment le taux d'utilisation au cours d'une période de chauffage, par rapport au pouvoir calorifique inférieur du gaz.

Référence: Chaudière à gaz à condensation.

Hypothèses: Rendements de la CCF de 35% électrique et 55% thermique, rendement de la CCC de 56% électrique et 0% thermique (pas d'utilisation de la chaleur).

Même en adoptant un scénario défavorable, dans lequel le chauffage est assaini et le coefficient de performance annuel est de 2,6 (air) ou 3,4 (sol), les émissions de CO₂ sont inférieures de 35% à 50% par rapport à celles des meilleures chaudières. Dans un bâtiment neuf, la réduction peut dépasser 60%. Et si le courant acheté est d'origine renouvelable, il n'y a plus d'émissions du tout.

10. Quelle est le potentiel d'application des pompes à chaleur?

Selon le recensement de l'an 2000, on compte en Suisse (chiffres arrondis) 1 400 000 chauffages, dont 800 000 chaudières à mazout, 200 000 chaudières à gaz et 170 000 chauffages électriques à résistances. Les chauffages à mazout et à gaz comptent pour presque la moitié de toutes les émissions de CO₂ produites en Suisse.

Compte tenu des avancées techniques et économiques actuelles en matière de pompes à chaleur, il est possible de remplacer un tiers des anciens chauffages, ce qui correspond à un potentiel de 400 000 pompes à chaleur. Les sources de chaleur disponibles dans l'environnement ne constituent pas un facteur limitant. Avec les technologies actuellement disponibles, il existe suffisamment de sources de chaleur proches de consommateurs pour chauffer plusieurs fois toute la Suisse.

Il est possible de fournir l'électricité d'entraînement par 20 000 installations à couplage chaleur-force (centrales à énergie totale) décentralisées ou par deux grandes centrales à cycle combiné ou une combinaison des deux modes de production.



11. Liste des abréviations

A, /a	an, par an
CCC	centrale à cycle combiné (centrale avec turbine à gaz et à vapeur)
CCF	couplage chaleur-force
CETE	Centrale à énergie totale équipée
COPA	coefficient de performance annuel
el	électrique
équiv.	équivalent
GWh	gigawattheure
h	heure
kW	kilowatt
PAC	pompe à chaleur
PJ	pétajoule
th	Thermique
TJ	térajoule
TWh	térawattheure

12. Bibliographie

- Objectifs du programme SuisseEnergie, objectifs sectoriels et contributions cibles 2001 et 2002, OFEN, Berne, février 2004
Données selon chap. 6.1 page 28, chap. 3.4, page 12 et chap. 3.3, page 11:
La consommation d'énergie des combustibles fossiles pour le chauffage et la production d'eau chaude dans les immeubles d'habitation et de bureaux se monte au total à 223'670 + 67'413 = 291'083 TJ
Objectif SuisseEnergie pour combustibles, total: 50'503 TJ
Objectif SuisseEnergie pour combustibles, contribution cible nécessaire des énergies renouvelables: 10'800 TJ
- Statistique globale suisse de l'énergie 2005, OFEN, Berne, août 2006
- Steps toward a sustainable development, A white book for R&D of energy-efficient technologies, Novatlantis, E. Jochem (Editor), CEPE ETH, Zurich, mars 2004
- Konzept Umbezugswärme, WKK, Kälte 2004-2007, verabschiedet durch die CORE am 10.9.2004
- M. Ehrbar, M. Erb, P. Hubacher, analyse in situ d'installations de PAC (ANIS) 1996-2003, rapport final, avril 2004, ENET 240016
- Das Potenzial von Wärmepumpen-Heizungen im Falle eines Erdoel-Lieferstoppes, OFEN, Berne, juillet 1983 (document de travail interne, 1 seul exemplaire subsiste dans les archives)
- F. Rognon, Förderung der erneuerbaren Energien durch das Bundesamt für Energie: Ziele für Wärmepumpen und Umfeld für grosse Wärmepumpen, im Tagungsband der 9. UAW-Tagung vom 2002, ENET-Nr.
- Office fédéral de la statistique, recensement de la population 2000, chiffres-clés sur les bâtiments et les logements, sous http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/bau-_und_wohnungswesen.html.
- Projekt GaBE: Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen, Perspektiven der zukünftigen Strom- & Wärmeversorgung für die Schweiz, PSI, Villigen, août 2001
- Road Map für die erneuerbaren Energien in der Schweiz bis 2050, SATW, Berne, novembre 2004
- R. Rigassi, HP. Eicher, Zukünftige Marktbedeutung von WKK-Anlagen (1-1'000kW_{el}), OFEN, Berne, 2003
- Ueberprüfung der Erhebung der Widerstandsheizungen, OFEN, section Statistique, note du 8.9.2003
- Le couplage chaleur-force dans le programme SuisseEnergie, OFEN, août 2003 (réf. 003692950)
- J. Nipkow, Stand-by-Verbrauch von Haushaltgeräten, OFEN, Berne, juin 2003
- M. Zogg, Wärme und Strom aus Brennstoffen – effizient und umweltschonend, OFEN, mai 2002
- D. Favrat, G. Sarlos et al., Projet PACLAC, Valorisation de l'énergie thermique des lacs pour le chauffage urbain, Rapport final, NEFF, mars 1995
- M. Strebel, W. Seidinger, Heizkörperwärmepumpe, Zusammenfassung bisher erarbeiteter Informationen und Grundlagen zur Förderstrategie, OFEN, Berne, août 1997
- UNO-IPCC TAR (2001), chap. 1.2.1, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/041.htm#121
- F. Rognon, Potentiel énergétique des pompes à chaleur combinées au couplage chaleur-force, OFEN, Berne, Juin 2005