

# Les pompes à chaleur (PAC)

## Rapide historique

Le principe de la pompe à chaleur est ancien. C'est en effet un dispositif thermodynamique permettant de transférer la chaleur du milieu le plus froid (et donc le refroidir encore) vers le milieu le plus chaud (et donc de le chauffer), alors que, spontanément, la chaleur se diffuse du plus chaud vers le plus froid jusqu'à l'égalité des températures.

Le réfrigérateur est le système de pompe à chaleur le plus connu et le plus ancien. Le climatiseur est un autre système de pompe à chaleur courant. Les deux servent à produire du « froid » plus que de la chaleur : la chaleur qu'ils génèrent est perdue.

Mais le terme de « pompe à chaleur » (PAC) s'est surtout diffusé pour désigner les applications de chauffage (domestique, tertiaire, industriel). Les PAC sur air ont connu un grand succès de 1975 à 1985, à l'époque du pétrole cher. Il y eut cependant de nombreuses déceptions, à cause de problèmes de conception et d'installation. Les pompes à chaleur géothermiques (sur eau ou sur sol) se sont aussi développées dans les années 80. La Suède et la Suisse apparaissent en Europe comme les pays les plus dynamiques pour le développement des pompes à chaleur géothermiques.

Le marché des PAC connaît une très forte croissance (53 000 unités vendues en 2006 hors air/air, soit un doublement du marché).

Outre le marché individuel, les PAC de forte puissance (jusqu'à quelques MW) se développent pour le tertiaire et le collectif.

## État de l'art

La pompe à chaleur transforme la chaleur de l'environnement de basse température en chaleur de chauffage à température plus élevée. La partie ainsi « pompée » à l'environnement (air, eau, sol) constitue une énergie renouvelable.

L'efficacité d'une pompe à chaleur s'exprime par son coefficient de performance, rapport de la puissance thermique fournie par la PAC à la puissance fournie à la PAC (en général de l'électricité). Cette valeur se révèle d'autant plus élevée que l'écart de température entre la source de chaleur soutirée à l'environnement et la température de départ du chauffage est faible. Pour obtenir cette condition, deux mesures sont requises, une faible demande d'énergie de chauffage et de grandes surfaces d'émission de chaleur (par exemple, un chauffage par le sol à basse température).

La chaleur prise à l'environnement peut provenir de différentes sources :

- Les rejets thermiques, la meilleure source de chaleur, mais rarement disponible ;
- L'air ambiant, largement disponible partout, mais présentant un mauvais coefficient de performance à basse température extérieure ;
- Les eaux souterraines et de surface, très bonne source de chaleur, souvent disponible en particulier dans les contextes sédimentaires ;
- La sonde géothermique à eau, qui permet de bénéficier d'une température élevée en hiver (aux environs de 13 °C) ;
- Le sol, qui reçoit en continu des flux énergétiques à sa surface, accumule cette énergie et se transforme alors en réservoir de calories renouvelables. Pour profiter de cette chaleur, il suffit d'enterrer des capteurs à moins d'un mètre sous la terre, la surface nécessaire pour les capteurs étant équivalente à une ou deux fois la surface à chauffer.

Ces trois derniers types de PAC sont appelés « pompes à chaleur géothermiques ».

Les pompes à chaleur géothermiques peuvent être utilisées durant l'été en combinaison avec un chauffage par le sol pour le rafraîchissement passif des locaux (free cooling).

## Les PAC en bref

Machines de quelques kW à quelques MW.

**Productible** : 2,5 à 4,5 kWh de chaleur pour 1 kWh d'électricité (1,5 à 3,5 kWh d'énergie renouvelable « pompée ») selon les technologies.

**Durée de vie** : 15 à 25 ans.

**Capacité installée en France** : 120 000 PAC, hors PAC air/air qui fournissent 8 TWh de chaleur par an

**Marché européen** : 140 000 PAC par an.

**Marché français** : 53 000 en 2006 hors PAC air-air

**Emplois** : 1/GWh

**Émissions de GES** : 130 g pour le bouquet électrique européen

## Coûts

Les installations géothermiques sont technologiquement au point, mais leur coût demeure très variable selon les situations. Selon l'ADEME, pour une maison individuelle, un chauffage par PAC géothermique coûte de 70 à 100 euros/m<sup>2</sup> de surface à chauffer avec captage horizontal et de 140 à 180 euros/m<sup>2</sup> pour un captage vertical. Pour le tertiaire et le collectif, l'effet de taille permet de rentabiliser les investissements avec des temps de retour parfois inférieurs à 5 ans.

## Capacité installée

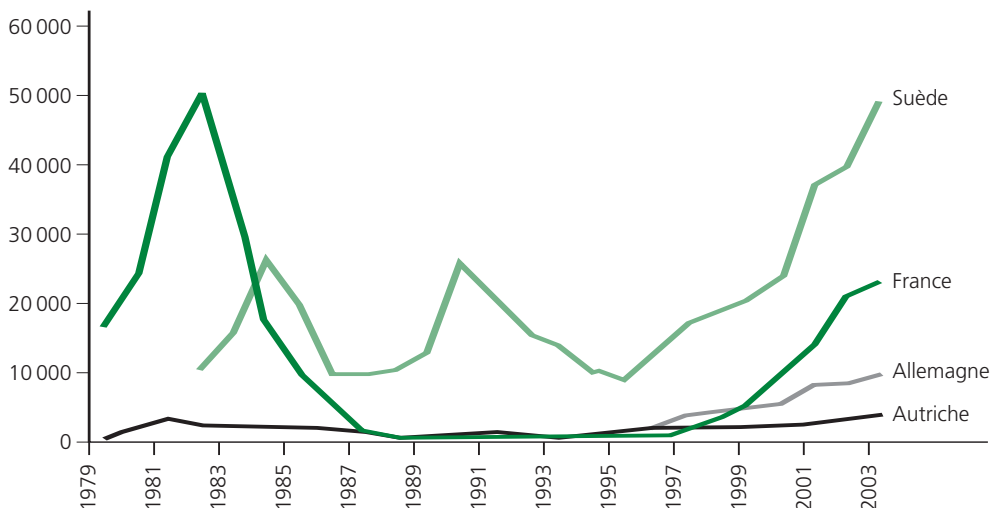
En France, environ 120 000 unités hors systèmes air/air sont actuellement en service (8 TWh par an). La géothermie concernerait entre 5 et 10 % du parc de logements neufs.

## Marché

A l'échelle européenne, le marché annuel s'est accru de 20 000 unités en 1995 à 140 000 en 2004. Le taux de croissance annuel atteint ainsi 20 % en moyenne.

La Suède disposerait des PAC dans près de 95 % de ses constructions neuves. Cette part représente près de 29 000 unités en capteurs verticaux par an. En Suisse, ce sont près de 50 % des maisons individuelles neuves qui sont construites avec un équipement PAC (dont 40 % sont des PAC sur capteurs verticaux et 60 % des PAC sur air de type air/eau). En France, l'ensemble des PAC représenterait 53 000 unités vendues en 2006, hors PAC air/air.

### Europe : marché des PAC (chauffage hors split)



Sources : AFPAC, C. Ducruet/EHPA, European Heat Pump Network (via la note HN-96/01/002), étude BATIM

## Emplois

Selon l'Ademe<sup>(3)</sup> la construction et la mise en place des PAC est créatrice d'environ un emploi pour 40 pompes à chaleur. En faisant l'hypothèse que la puissance moyenne de ces PAC à usage domestique est de l'ordre de 10 kW on obtient le chiffre de 2,5 emplois par MW et d'environ 1 emploi par GWh (pour un fonctionnement de l'ordre de 2 500 h par an).

(3) Ademe, Stratégie et études, avril 2007.

## Émissions de GES

Elles sont de l'ordre du tiers de celles de l'électricité utilisée. Avec le mix électrique européen, les émissions seront de l'ordre de 120 g CO<sub>2</sub>/kWh. Avec le bouquet électrique français, mais en tenant compte du fait que le chauffage domestique s'effectue en hiver où les centrales aux énergies fossiles sont sollicitées, les émissions seront de l'ordre de 30 g/kWh.

## Perspectives

### Potentiels

Le chauffage électrique par effet Joule, qui équipe encore largement le logement neuf en France, hors parc social où le chauffage gaz reste prédominant, devrait s'effacer au profit de la pompe à chaleur, qui réduit d'un facteur proche de 3 la consommation d'énergie finale, pour un même niveau de besoins de chauffage. Si cette transformation était généralisée en 2050 au stock de logements, la consommation du chauffage électrique serait réduite à un peu plus de 20 TWh, pour environ 40 TWh prélevés à l'environnement.

### Applications en développement

Dans les maisons individuelles, les chaudières gaz ou fioul peuvent être remplacées par des équipements de type PAC haute température, tout en maintenant une distribution classique par chauffage central : les COP actuellement de 2,1 pourraient atteindre 4,8 en 2030.<sup>(4)</sup>

### Enjeux

La question des fluides frigorigènes reste un problème : le R22 dangereux pour la couche d'ozone est progressivement remplacé par des fluides de substitution, tels les HFC (R407C, R410A et R417A), inoffensifs vis-à-vis de la couche d'ozone, mais qui sont encore de puissants gaz à effet de serre.

(4) M.H. Laurent, D. Osso, P. Mandrou, H. Bouia, Scénarios de rénovation du parc résidentiel à 2030 en France dans un contexte « MDE », EDF R&D, IBPSA France – 2 & 3 novembre 2006.