



André Freymond
Responsable romand du
Groupement promotionnel
suisse pour les pompes
à chaleur

Principe, applications et marché de la pompe à chaleur

Le principe thermodynamique, base de la technique des pompes à chaleur, a été découvert en 1850 par Joule qui a trouvé l'équivalence entre le travail et la chaleur. Les premières applications industrielles datent du début du 20^e siècle pour produire du froid, suivies très rapidement d'applications pour produire de la chaleur. Par exemple, la piscine municipale de la ville de Zurich est chauffée depuis 1939 par une pompe à chaleur.

Progression

Les pompes à chaleur (PAC) ont fait une percée importante durant les années 70 lors de la première crise pétrolière. Ensuite, le coût du mazout de chauffage étant redescendu à des prix que nous ne reverrons probablement plus, le nombre de pompes à chaleur installées, alors encore chères et pas toujours très fiables, est retombé à des quantités anecdotiques. Les années 80 et la crise qui leur est associée ont relancé le marché. Les expériences des années passées ont permis de construire et d'installer des machines plus sûres et plus performantes. Les prix de ce type d'installations demeuraient encore relativement élevés. Toutefois, et malgré des coûts du mazout à nouveau bas, la pompe à chaleur a progressé sur le marché de la construction des villas neuves en particulier. La fin des années 80 voit également apparaître la technique du forage géothermique.

Promotion organisée

Sous l'impulsion de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et de quelques acteurs de la région zurichoise, le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP) est créé en 1993. A partir de cette date, la branche s'organise et met en place une promotion active des pompes à chaleur avec comme objectif principal une contribution maximale à l'accroissement de la part des énergies renouvelables dans la production de chaleur et à la réduction des émissions de CO₂.

Appuyé par l'OFEN, un concept de promotion basé essentiellement sur l'assurance de la qualité, décliné sous la forme de recherche et développement, de projets pilotes et démonstrations (jusqu'en 2004), de brochures d'information grand public, de formation professionnelle et de certification, est élaboré. Il est la clé de voûte du succès rencontré par le marché de la pompe à chaleur et se traduit par une amélioration sensible des performances et de la qualité. Ainsi que par une progression annuelle des ventes de pompes à chaleur de 15% depuis 1993 qui passe à 22% en 2005 par rapport à 2004 et à plus de 32% en 2006 par rapport à l'année précédente.

Aujourd'hui, les architectes, les ingénieurs, les installateurs et les propriétaires disposent de machines de série très performantes destinées au marché de la rénovation et de la construction neuve, tant pour de petits objets, comme des villas familiales, que pour des immeubles locatifs ou des industries.

Principe

La pompe à chaleur est une machine qui utilise la chaleur de l'environnement (renouvelable) comme énergie de base et, dans la très grande majorité des cas, de l'électricité comme énergie d'entraînement. De l'environnement, elle peut soutirer la « chaleur » de l'air, du sous-sol et des eaux de surface ou souterraines. Comme cette « chaleur » n'est pas utilisable telle quelle, sa température étant trop basse, c'est le circuit frigorifique de la pompe à chaleur qui se charge de l'amener à un niveau utilisable.

Comment cela fonctionne-t-il? Dans un circuit frigorifique fermé circule un fluide frigorigène qui se condense ou s'évapore selon son état (pression et température). Le circuit se compose de deux échangeurs de chaleur (l'évaporateur et le condenseur), d'un compresseur entraîné par un moteur et d'un détendeur.

Le fluide frigorigène est mis en circulation grâce au compresseur. En traversant l'évaporateur, le fluide frigorigène s'évapore et capte quelques calories à l'air, à la chaleur du sol ou à l'eau qui circule dans ce dernier. Le fluide frigorigène devenu gazeux, chargé des calories de l'environnement, est aspiré par le compresseur. Tout gaz comprimé s'échauffe. En utilisant ce phénomène, le fluide frigorigène monte à une température de 70 à 100° C (selon les fluides utilisés) et

Fig. 1 : La chaleur de l'environnement est captée par l'évaporateur. Cette énergie est transmise au condenseur par le fluide caloporteur. Ce dernier passe de l'état liquide à l'état gazeux et inversement. Ce changement d'état permet d'absorber l'énergie de l'environnement et respectivement de la restituer au circuit de chauffage. Le compresseur entraîné par un moteur électrique assure à la fois l'élévation de la température et la circulation du fluide.

va ensuite traverser le condenseur. Le gaz chaud mis en contact « indirect » avec le circuit d'eau de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire se condense et lui transmet ses calories.

À la sortie du condenseur, le fluide frigorigène devenu liquide va traverser le détendeur et se refroidir à une température d'environ 10° C inférieure à la chaleur de l'environnement qui traverse l'évaporateur. Ainsi le cycle peut recommencer. Le détendeur est généralement composé d'un pointeau commandé par un bulbe (sonde) placé à la sortie de l'évaporateur qui laisse passer plus ou moins de liquide frigorigène pour le faire descendre à la température requise (voir figure 1).

Air, sol ou eau

Selon le type de chaleur de l'environnement capté et le système de distribution utilisé, les pompes à chaleur se déclinent selon différents modèles. Les pompes à chaleur air-eau, sol-eau et eau-eau sont les plus courantes et les plus conventionnelles. Elles représentent 98% des parts de marché.

Dans des habitations très bien isolées, de type MINERGIE-P, la PAC air-air refait son apparition. Dans quelques cas particuliers, on trouve des PAC sol-air ou eau-air. Le premier mot précise toujours la source de chaleur (chaleur de l'air, du sol ou de l'eau) et le deuxième, la façon de diffuser la chaleur (système hydraulique : radiateurs ou chauffage au sol ; aéraulique : réseau de tuyaux à air chaud).

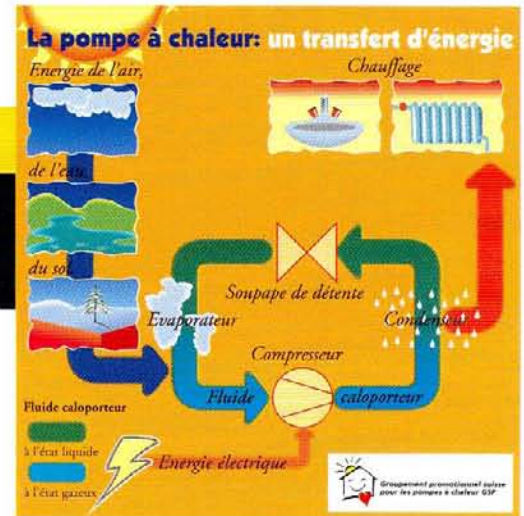
La chaleur du sol est captée par l'intermédiaire de tuyaux en matière plastique très résistants et imputrescibles disposés dans un forage vertical, ou en serpentín horizontal à 1 m de profondeur minimum, ou encore dans une tranchée. Ces modes de captage s'appellent respectivement sonde géothermique, captage plan ou tranchée thermique. Il s'agit toujours d'un circuit fermé formé de plusieurs boucles dans lequel circule généralement de l'eau additionnée de 25 à 35% d'antigel.

Pour les autres modèles, la chaleur de l'air et de l'eau est captée en faisant circuler directement ces fluides à travers l'évaporateur.

Coefficients de performance

La pompe à chaleur fonctionne en quelque sorte comme un ascenseur qui, à partir d'une basse température captée dans l'environnement, va la monter à une température lui permettant de chauffer un immeuble et son eau chaude sanitaire. Cela nécessite une part d'énergie électrique pour fournir de trois à plus de cinq parts d'énergie de chauffage.

Plus la différence de température entre la chaleur de l'environnement et la chaleur du circuit de chauffage est petite, plus le rendement est élevé. L'indice qui met en évidence la part d'énergie de chauffage par rapport à celle fournie par le réseau électrique s'appelle coef-



ficient de performance annuelle (COPA). Il s'agit de l'énergie thermique fournie par la pompe à chaleur divisée par l'énergie électrique consommée par l'installation.

Du COPA va dépendre le coût annuel d'exploitation de l'installation de chauffage. Ce coût se compose de la quantité de courant électrique consommé par le compresseur en une année, complétée par la consommation de la pompe de circulation ou du ventilateur pour le captage de chaleur et de la (ou des) pompe(s) de circulation du circuit de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

Un autre indice important est le coefficient de performance COP instantané. Il se mesure sur un banc d'essais en fonction d'une température de captage et de distribution donnée. Par exemple, lors du choix d'un modèle de PAC air-eau pour chauffer une piscine en plaine ou d'un modèle pour chauffer une maison à 1200 m d'altitude équipée de radiateurs, la préférence se portera dans le premier cas sur une PAC qui dispose du COP le plus élevé possible à une température de l'air entre +15 et +25° C pour une distribution à 35° C. Pour la maison, le choix se portera par contre sur une machine qui a le COP le plus élevé à une température de l'air entre -5 et -15° C pour une distribution à 50° C.



Fig. 2: Station d'arrivée de la télécabine de Bettmerhorn (VS). Les pertes thermiques des moteurs électriques de l'installation sont valorisées grâce à une pompe à chaleur air-eau. Le chauffage et le préchauffage de l'eau chaude sanitaire de l'ensemble du complexe sont assurés par la pompe à chaleur.

Tests

Ces valeurs se retrouvent sur les prospectus détaillés des fabricants de PAC ou, pour celles qui ont été testées par le centre officiel de test des pompes à chaleur à Buchs (SG), sur le Bulletin du WPZ (Wärmepumpen-Testzentrum WPZ).

Des abréviations en anglais déterminent la température de captage et respectivement de distribution. Pour les pompes à chaleur air-eau, la mention A2/W35 signifie que les tests ont été effectués avec une température de l'air à 2° C et de l'eau de distribution à 35° C. Le COP indiqué est le résultat de la division de la puissance thermique fournie par la PAC par la puissance électrique absorbée par cette dernière. Pour une PAC sol-eau, les abréviations suivantes sont utilisées: B (Brine, en français saumure, aujourd'hui remplacée par de l'eau additionnée d'antigel) suivi d'un chiffre (généralement -5, 5 ou +5) et de W (Water, en français eau) suivi d'un chiffre (généralement 35, 45 ou 55). Pour les PAC eau-eau, la lettre W sera suivie d'un chiffre (généralement 10 ou 15) et à nouveau d'un W suivi d'un chiffre (généralement 35, 45 ou 55).

Applications

En tant que machine thermodynamique, la pompe à chaleur présente le grand avantage de pouvoir travailler en mode réversible. Cela signifie que, selon les besoins, des installations très compactes peuvent subvenir aux besoins en chaud et en froid de villas, d'immeubles, de locaux artisanaux ou industriels.

Dans ces deux derniers cas, les applications sont nombreuses (voir article pp. 22-25). Avec un peu d'imagination et de savoir-faire, il est en effet possible de produire alternativement ou simultanément de la chaleur et du froid, de récupérer des rejets thermiques, de se servir du sous-sol pour stocker et récupérer cette énergie le moment opportun.

Un exemple intéressant d'utilisation de rejet thermique est celui de la station terminale de remontées mécaniques du Bettmerhorn situé à 2700 m d'altitude au-dessus de Bettmeralp en Valais. La chaleur dégagée par les moteurs électriques de l'installation de télécabines est récupérée et traverse l'évaporateur d'une PAC air-eau. Il s'agit d'une installation de 116 kilowatts de puissance thermique qui permet de chauffer l'ensemble du complexe et de préchauffer l'eau chaude sanitaire. Deux cuves de stockage de 3600 l chacune assurent une autonomie de plusieurs jours en cas d'interruption d'exploitation de la télécabine (voir figure 2).

Une installation de PAC standard qui fournit le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire peut être combinée avec des panneaux solaires thermiques. Cette combinaison permet d'améliorer davantage le coefficient de performance annuel de l'installation. Il est

encore possible d'optimiser l'installation solaire en la combinant, en plus, avec le chauffage. Pour rester dans les énergies renouvelables, la combinaison avec une installation à bois, en particulier lorsqu'il est nécessaire de diffuser une haute température dans des radiateurs, peut aussi s'avérer intéressante.

Rafrâichir

La technique de la sonde géothermique verticale (SGV) a permis d'élargir le spectre des possibilités économiques de capter ou de stocker de l'énergie. En effet, la SGV est une source de chaleur en hiver et une source de froid en été. Une technique relativement récente, mais de plus en plus appliquée, consiste à rafraîchir des bâtiments en faisant circuler de l'eau froide, 15 à 18° C, dans le plancher chauffant de l'immeuble. Cette eau froide va capter les calories des pièces et donc les rafraîchir. Ces calories sont ensuite cédées à l'eau qui circule dans les SGV par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques.

Ce mode de rafraîchissement naturel, appelé aussi geocooling, n'utilise que très peu d'énergie puisque la pompe à chaleur ne fonctionne pas. Seules la pompe de circulation du captage (SGV) et celle du circuit de distribution sont en fonction, ce qui permet d'atteindre un coefficient de performance annuel au-dessus de 20. Autrement dit, avec une part d'énergie électrique, il est possible d'obtenir plus de 20 parts d'énergie de froid. La grande majorité des lois sur l'énergie cantonale exige une clause du besoin pour la production de froid sauf avec ce mode de fonctionnement. Il ne s'agit toutefois pas d'une climatisation mais d'un moyen simple

et économique de rafraîchir des volumes de quelques degrés.

Une autre technique en pleine évolution consiste à utiliser les géostructures souterraines des bâtiments (voir article pp. 56-60 et encadré p. 60).

Rendements en progression

Comme mentionné en préambule, les performances des PAC ont beaucoup évolué ces dernières années. Les coefficients de performance des machines ont augmenté de 25 à 40% selon les modèles en quinze ans. Les températures de sortie des machines jusqu'alors limitées à 50 ou 55° C sont passées pour certains modèles de PAC à plus de 80° C. C'est le cas d'une nouvelle génération de PAC qui fonctionne avec du CO₂ (gaz

carbonique) comme fluide frigorigène (voir article pp. 44-47).

La grande majorité des fabricants de PAC propose actuellement des machines qui atteignent une température de sortie de 65° C. Ces machines se déclinent avant tout en modèles air-eau ou sol-eau et permettent de couvrir les besoins en chaleur pour une distribution haute température (radiateurs).

La pompe à chaleur à gaz (PAC gaz)

Le marché de la chaleur sous pression

Le gaz naturel est un acteur essentiel du marché de la chaleur en Suisse (avec une part de marché de plus de 25%), grâce à sa nature gazeuse et à sa composition qui le destinent à la combustion. Le rendement thermique atteint par les chaudières à condensation est impossible à dépasser par un processus de combustion (supérieur à 100% sur le pouvoir calorifique intérieur). Alors pourquoi développer des PAC gaz ?

En utilisant la chaleur de l'environnement, les PAC gaz offrent un gain supplémentaire d'efficacité (gain de 25 points par rapport à la condensation), donc une production moindre de CO₂. Elles sont plus chères que les chaudières à condensation, et leur rentabilité nécessite une installation soigneusement étudiée.

Déjà bien implantées au Japon et en Italie, les PAC gaz font l'objet d'essais en Allemagne et en Suisse, afin de définir les conditions limites d'utilisation sous nos climats.

Elles pourront constituer une alternative aux PAC électriques dans les zones alimentées en gaz, en particulier dans la rénovation (meilleure adaptabilité aux systèmes de chauffage à température élevée) et pour couvrir les besoins en froid (machines réversibles). Dans ce cas, elles contribuent à une utilisation optimale des réseaux électriques et de gaz.

La notion de COP¹, définie pour les PAC électriques, repose sur l'utilisation d'électricité, énergie secondaire, comme énergie d'entraînement. Le COP d'une PAC à gaz, énergie primaire, doit atteindre au moins 1,5, ce qui correspond à un COP de 3 atteint par une PAC électrique². Une comparaison directe des COP électrique et gaz n'a donc pas de sens.

Trois types de PAC gaz

Les PAC à moteur à gaz

Développées au Japon dans les années 90, elles utilisent un compresseur entraîné par un moteur à gaz (7 à 40 kilowatts) et sont réversibles (production de chaud et de froid).

Le cycle est semblable à celui des PAC électriques et utilise des Fréons.

Les PAC à absorption

Le système sans compresseur, robuste et silencieux, utilise des mélanges ammoniac/eau entraînés par une pompe et un générateur/absorbeur alimenté au gaz. Réversibles, elles

sont encore peu présentes sur le marché des petites puissances (35 kW).

Les PAC à absorption-diffusion

Contrairement aux précédentes, elles fonctionnent sans pompe, grâce au phénomène de thermo-siphon, et sont non-réversibles. Une machine de présérie (3,6 kW), destinée au marché des villas, est actuellement testée.

Installation

L'entraînement des PAC gaz par un brûleur ou un moteur thermique implique une installation en toiture ou dans un local de chauffage avec évacuation des produits de combustion à l'extérieur. On privilégie un fonctionnement en mode bivalent (PAC + chaudière) pour garantir un rendement élevé toute l'année.

Nicolas Houlmann,
Société Suisse de l'Industrie
du Gaz et des Eaux

¹ COP (coefficient de performance) = énergie utile/ énergie fournie « payante »

² Si on admet que l'électricité provient d'un cycle thermique ayant un rendement de 50% (par exemple une centrale à cycle combiné à gaz).

Marché

A la fin du premier trimestre 2006, la 100 000^e pompe à chaleur a été installée en Suisse. Cet événement a été dignement marqué au Château Le Rosey à Bursins, dans le canton de Vaud, avec les principaux acteurs du marché de la pompe à chaleur, les autorités politiques et la presse (voir encadré p. 24).

Environ 75 000 pompes à chaleur ont été installées dans des bâtiments neufs, en majorité dans des villas. Les 25 000 restantes ont remplacé des chauffages traditionnels à énergie fossile (principalement au mazout), des chauffages électriques et d'anciennes pompes à chaleur. Avec la hausse importante du prix du mazout et du gaz ces deux dernières années, la part du marché de la rénovation se développe de façon réjouissante.

L'amélioration des performances des machines est également un facteur important de cette croissance. Le cycle de vie moyen des chauffages, tous systèmes confondus, est de 15 à 20 ans. Cela signifie que, dans ce laps de temps, les 1,3 million de bâtiments équipés d'un chauffage devront être changés! Le potentiel est donc gigantesque. Les moyens techniques et le savoir-faire actuels avec, en plus, les développements en cours et à venir, permettent d'envisager un parc de 300 000 à 500 000 pompes à chaleur équipant toutes sortes de bâtiments les 20 à 25 prochaines années.

Contracting

Les installations de pompes à chaleur sont encore aujourd'hui d'un coût d'investissement supérieur à celles au mazout ou au gaz. Mais les très faibles frais d'exploitation compensent rapidement cette différence. Selon la configuration de l'installation et le système choisi, au prix actuel des énergies, il faut entre 2 et 10 ans pour l'amortir. De plus, le confort d'utilisation n'a pas d'équivalent.

De nouveaux modes de financement apparaissent, en particulier le contracting énergétique pour les installations de plus de 50 kilowatts (kW) de puissance thermique. Certains distributeurs d'électricité, pour la plupart établis outre-Sarine, ont acquis une grande expérience en la matière. Ils ont financé et exploitent plusieurs centaines d'installations jusqu'à 1000 kW thermiques et plus (voir article et encadré pp. 18-20).

GSP, une association à but non lucratif

Le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur se tient à disposition des professionnels et du grand public pour communiquer des informations et des conseils objectifs. Des cours de formation continue pour les professionnels sont planifiés tout au long de l'année. Le site Internet www.pac.ch dispose d'un grand nombre de renseignements comme les adresses des professionnels compétents, les dates des cours et des manifestations et autres. D'autre part, une grande quantité de documents généraux et techniques peut être téléchargée ou commandée en ligne. Le téléphone **021 310 30 10** et l'e-mail info@pac.ch sont à disposition des intéressés.

Economies et écologie

Le marché de l'électricité verte, c'est-à-dire une électricité produite à partir d'énergies renouvelables, est en pleine expansion. Le rôle des distributeurs de cette énergie écologique, sans émission de CO₂, s'avérera à l'avenir déterminant dans le développement des pompes à chaleur. En effet, avec une part d'électricité renouvelable, il est possible de mettre en valeur la chaleur de l'environnement pour subvenir à la totalité des besoins en chauffage et en production d'eau chaude sanitaire d'une grande majorité des bâtiments neufs et en rénovation, sans aucun dommage pour l'environnement.

En 2006, le marché de la pompe à chaleur représente un chiffre d'affaires annuel global qui s'approche de 500 millions de francs. Grâce à un savoir-faire toujours plus important, à une technologie et à des performances en progression continue, ce marché va très rapidement doubler.

Un autre aspect intéressant de la promotion de ce mode de chauffage réside dans le fait que les acteurs professionnels de cette branche sont sensibles aux problèmes d'économies d'énergie et de protection de l'environnement. Ils jouent donc un rôle important auprès des propriétaires d'immeubles pour les sensibiliser et les inciter à améliorer l'enveloppe de leurs immeubles avant de les équiper d'une pompe à chaleur. Une mesure qui contribuera non seulement à diminuer très fortement les dommages à l'environnement mais également à ajouter une valeur importante et un confort sans pareil à leurs propriétés.