

Introduction

Les premiers chocs pétroliers ont conduit à un démarrage prometteur des pompes à chaleur (PAC) dans le secteur domestique en France.

A la suite des chocs, le programme PERCHE d'EDF (pour Pompes En Relève à des CHaudières Existantes) a conduit à plus de 50 000 PAC installées en 1982. Mais ceci fût suivi d'une forte régression, due d'une part à la chute du prix du fioul et d'autre part, à des insuffisances en termes de qualité d'équipements et de maintenance, le tout étant lié. Par exemple en 1997 seulement un millier de PAC furent installées et de nombreuses installations étaient arrêtées, pour certaines définitivement et d'autres en attente de jours meilleurs pour la maintenance.

La reprise intervenue progressivement à partir de 1997 grâce à un encadrement qualitatif (fabricants et installateurs ...) s'est accélérée ces dernières années par suite de la nouvelle remontée du prix du fuel et du gaz, avec l'accent mis sur le marché du logement individuel neuf, notamment avec les systèmes à faible profondeur (tuyaux horizontaux enterrés dans le jardin)

Les aides financières publiques (crédits d'impôts) accordées depuis 2005, au même titre que celles accordées depuis longtemps aux autres énergies renouvelables, ne sont pas neutres dans ce développement.

Cette reconnaissance du caractère renouvelable de l'énergie, obtenue à partir d'une PAC fût tardive, puisque au niveau de certains organismes d'Etat, les PAC n'étaient pas recommandées, elles étaient même rejetées¹

Faisant appel à l'énergie électrique, soit en France, indirectement au nucléaire honni, elles n'avaient pas les faveurs de certains !

Les choses ont changé et ce sont en 2006, 110 000 PAC qui ont été installées en France.

Les premières indications du marché 2007 montrent une forte croissance : + de 160 000 appareils installés, soit + 50 %.

Ceci affecte essentiellement le logement neuf, mais on note aussi une reprise du marché de la rénovation (relèves de chaudières).aussi bien pour l'habitat individuel que pour le tertiaire.

A) Généralités : un peu de physique²

Si, naturellement, la chaleur va du chaud vers le froid, l'utilisation d'une pompe à chaleur permet globalement d'inverser « le courant » et de transférer l'énergie thermique d'une zone dite froide en la refroidissant davantage, vers une zone dite chaude en la chauffant davantage.

Ceci fait appel à une machine que l'on peut de façon simplifiée comparer à un réfrigérateur inversé, jouant sur les phénomènes d'évaporation et condensation d'un fluide dit frigorigène.

Ce fluide est soumis au cycle de détente compression, comme le montre le schéma suivant dans le cas d'une installation à détente directe du circuit frigorigène.

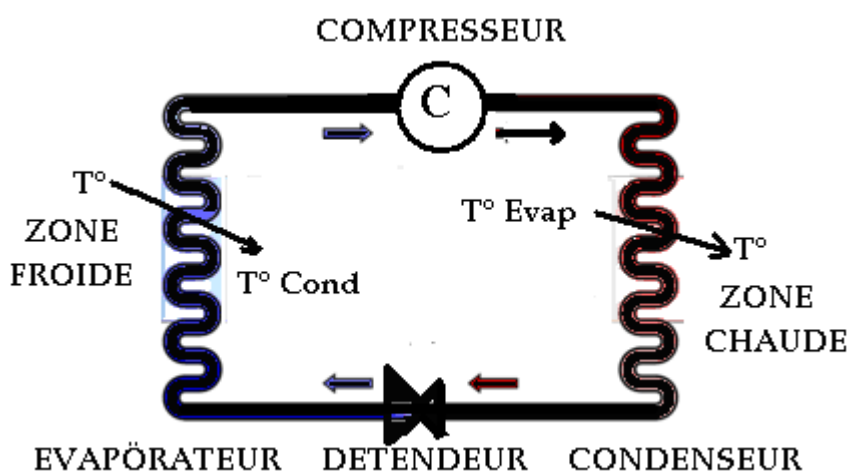
Dans cette installation simple, on trouve, pour créer les 2 étages de pression : un compresseur et un détendeur et pour créer les 2 étages d'échanges de chaleur : un évaporateur et un condenseur.

¹ Les raisons de ce rejet ? Il se voulait justifié par l'analyse de la production primaire d'énergie.

A cause du rendement de Carnot, un facteur proche de 3 sépare en effet l'énergie primaire et l'énergie finale, lors du passage par le vecteur électricité. Mais avec un COP >3 on peut dire qu'il vaut mieux pour le bilan énergie primaire, brûler du gaz en centrale électrique et passer par une pompe à chaleur que brûler ce même gaz directement en chaudière. L'objection n'était donc pas recevable, mais, pire, le fait indiscutable qu'avec les PAC les rejets de CO² pouvaient être divisés par 20, était repoussé sans discussion

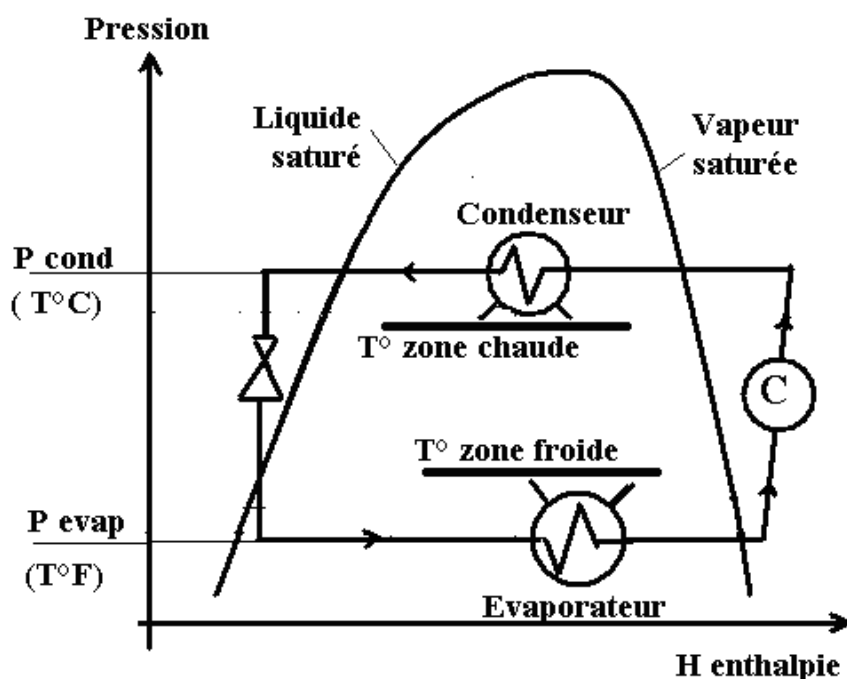
² Nous ne traiterons pas des PAC à absorption, pour lesquelles la compression par moteur est remplacée par un système à absorption couplé à un générateur de chaleur (brûleur gaz). Le fluide véhiculé par le cycle thermodynamique est un couple frigorigène / absorbant

Il faut souligner, que dans chacun de ces étages d'échange, la chaleur passe bien du chaud vers le froid.



C'est le changement d'état liquide / gaz qui permet ce transfert, plus lisible sur le diagramme classique de Mollier (pression / enthalpie)

Il faut rappeler qu'à l'intérieur de la courbe en cloche, les 2 phases liquide et gaz coexistent et à une pression correspond une température constante (équilibre liquide gaz)



- Dans le compresseur³, l'énergie mécanique, elle-même issue de l'énergie électrique du moteur passe au gaz en le comprimant (par exemple > à 10 bar) ce qui entraîne aussi une forte élévation de température.

- Dans le condenseur, le fluide après désurchauffe, en se liquéfiant à pression constante et à la température de saturation correspondante, transfère de la chaleur vers la zone à chauffer plus froide que lui ("enthalpie de liquéfaction").

- A l'entrée du détendeur (sortie du condenseur) le fluide est à l'état liquide, on dit que le fluide

³ Différentes technologies de compresseurs existent depuis les compresseurs à piston, ceux rotatifs, les systèmes Scroll (ces derniers basés sur 2 spirales sont de plus en plus utilisés)

est sous-refroidi (le fluide est toujours en haute pression comme dans le condenseur, mais à une température plus faible, de l'ordre de quelques degrés).

Dans le détendeur le fluide passe de l'état haute pression liquide, à une pression basse et à l'état mixte liquide et gaz. Ceci s'effectue à énergie (enthalpie) constante

- Dans l'évaporateur le fluide passe de l'état mixte (liquide et un peu de gaz) à l'état de vapeur dite sèche, en prenant de l'énergie (à pression constante) au milieu avec lequel il échange.

- À la sortie de l'évaporateur et à l'entrée du compresseur le fluide frigorigène est dit surchauffé (il est à la même pression que dans l'évaporateur mais à une température de l'ordre de quelques degrés de plus)

Le fluide frigorigène

Comme pour les réfrigérateurs et anciens climatiseurs, les fluides du type chlorofluorocarbure (CFC) interdits par leurs effets très nocifs sur la couche d'ozone ont été remplacés dans une première étape par des hydro chlorofluorocarbures (HCFC) beaucoup moins nocifs pour l'ozone. Ces derniers non interdits sont de plus en plus remplacés par des hydro fluorocarbures (HFC) considérés totalement inoffensifs vis-à-vis de l'ozone. Il en existe plusieurs nuances (R407C, R410A...) adoptées selon les températures de fonctionnement et la compatibilité avec l'huile de graissage du compresseur.

Le simple gaz propane présente des caractéristiques physiques très intéressantes, mais son inflammabilité limite son utilisation

Rendement, le COP.

L'efficacité d'une PAC se définit par le rapport de l'énergie « utile » (chaleur restituée) sur l'énergie fournie au compresseur et s'exprime par le COP (coefficient de performance) :

$$COP = \frac{P_{thermique}}{P_{électrique}}$$

P thermique : puissance thermique délivrée à la source chaude

P électrique: puissance délivrée par le moteur.

Un COP fabricant contractuel, sera donné pour des conditions spécifiques de températures des zones chaude et froide. Des abaques permettent d'estimer la variation du COP lorsqu'on s'écarte des conditions contractuelles

Les lois de la thermodynamique donnent un coefficient de performance théorique maximum dit de Carnot qui s'exprime par :

$$COP_{Carnot} = \frac{T_C + 273}{T_C - T_F}$$

Nota : Les températures T_C et T_F de condensation et d'évaporation dans le cycle exprimées en degrés Celsius, différent des températures des zones chaude et froide.

Il faut prendre en compte ces écarts de températures pour estimer le COP réel à partir des seules températures des zones chaude et froide.

Il faut prendre en compte également, les rendements des moteur et compresseur et le fait que le cycle idéal de Carnot, n'est jamais suivi.

Le COP réel sera donc toujours nettement inférieur au COP théorique de Carnot, néanmoins il est intéressant de raisonner sur ce dernier, pour examiner la sensibilité aux paramètres.

La température chaude intervient au numérateur pour augmenter le COP Carnot, mais aussi au dénominateur pour le réduire. Ce dernier facteur est prédominant comme le montre l'exemple suivant (démonstration un peu académique pour comprendre la sensibilité)

- En partant d'une PAC alimentant un chauffage au sol par un circuit d'eau chaude à 35°C et utilisant comme source froide une nappe phréatique à 10° C, des écarts de températures internes de 15 °C entre cycle et sources, nous obtenons un COP de Carnot de 5.8, à ce point de fonctionnement .

- Toutes choses égales par ailleurs, si on alimente des radiateurs avec de l'eau à 60 °C, le COP s'abaisse à 4.3 (diminution de 26 % du COP)

Si on alimente le même chauffage au sol à 35 ° C, mais à partir d'une source froide à 0° C, (cas du sol à faible profondeur) le COP devient 4.9 (baisse de 15 % du COP)

Le facteur essentiel agissant sur le COP est la température chaude (celle utilisée pour le chauffage) d'où l'intérêt évident des températures basses que permettent les planchers chauffants modernes par rapport aux radiateurs, choix qui n'est guère possible pour toutes les rénovations. A un degré moindre mais significatif, la possibilité de disposer d'une source froide à température la plus élevée possible est avantageuse, le mieux étant la nappe phréatique, ou des puits verticaux, profonds de plus de 50 mètres.

S'il faut, de toute façon, se référer au COP contractuel, donné pour un régime de référence, pour comparer les performances des appareils et solutions préconisées, il faut aussi tenir compte des besoins réels intégrés dans le temps dans des conditions différentes du COP contractuel, pour décider de l'intérêt d'une installation et en évaluer les performances.

Les PAC peuvent également être utilisées pour la production d'eau chaude sanitaire, soit comme système indépendant, soit comme fonctionnalité additionnelle au chauffage par PAC de la maison.

Les PAC sont, pour la plupart, réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent prélever de la chaleur dans un bâtiment, le rafraîchir et rejeter cette chaleur à l'extérieur.

B) Différents types de pompes à chaleur

Pour notre approche simplifiée du premier chapitre, nous avons présenté une installation simple à cycle direct. Les installations réelles sont en général plus complexes et il faut prendre en compte de nombreux facteurs.

a) où puiser la chaleur ?

- dans l'air (on parlera d'aérothermie)

L'air ambiant est toujours disponible en abondance et sans problèmes de rejet. L'installation est très simple et les investissements les moins importants et les moins coûteux. Il faut toutefois prendre en compte l'aspect esthétique et le bruit.

Mais la température de l'air est très variable et d'une manière défavorable, car c'est lorsque la température est très basse, que les besoins de chauffage sont les plus grands et les rendements les moins bons (l'écart $T^{\circ}_C - T^{\circ}_F$ du dénominateur de Carnot augmente)

Il faut aussi prendre en compte le givrage, soit en limitant l'utilisation lors des très basses températures, soit en prévoyant le dégivrage systématique.

- dans l'eau (d'un puits, lac, rivière ou mer, d'une nappe phréatique). Solution presque idéale quand elle est possible, si l'accès n'est pas trop éloigné (ne pas trop perdre en pompage). Il faut vérifier que cette source est disponible en quantité suffisante, que son utilisation est autorisée (administration des eaux et services sanitaires) et que le rejet ou retour d'eau refroidie s'effectue dans des conditions acceptables pour l'environnement.

- dans le sol, à l'horizontal, à proximité de la surface

Il faut disposer d'une surface de terrain importante (1.5 à 2 fois la surface à chauffer), notamment sans arbre, pour implanter la nappe de tubes enterrés en moyenne à 70 centimètres sous la surface. (Il est aussi possible pour une surface disponible de terrain moindre, de prévoir 2 couches à 60 et 120 cm) Même si la température du sol de surface ne varie pas comme celle de l'air, le rendement baisse un peu, lorsque les besoins sont au maximum, cas d'un hiver froid prolongé.

Aucune autorisation administrative n'est à demander.

- dans le sol, via un ou des puits verticaux (PAC/SGV pour sondes géothermales verticales).

Aux profondeurs de quelques dizaines de mètres la température froide est en hiver, nettement plus élevée qu'en surface (en moyenne 13 °C à -10 mètres, 15 °C à - 70 mètres) varie peu en cours de l'année (2 à 3°C) et le rendement reste optimal pendant toute la période de chauffe. Pratiquement aucun besoin de terrain spécifique, ni d'attention particulière, sauf l'absence de racines d'arbres vers la ou les sondes. Ces nombreux avantages sont contrebalancés par le coût plus élevé du fait du forage, une prévision de retour sur investissement mérite d'être faite.

Une autorisation administrative est imposée.

b) place des circuits intermédiaires ?

Le schéma simplifié du cycle direct présenté en introduction, montre le circuit du fluide frigorigène allant chercher directement la chaleur et la restituer aussi directement.

Cette solution est rarement utilisée, sauf pour des usages très localisés et limités.

Des circuits intermédiaires, soit au niveau de la liaison avec la zone froide, soit avec la zone chaude et souvent les deux, interviennent couramment.

Un objectif général est de limiter le volume du circuit frigorigène de base, pour qu'il soit le plus compact possible. On trouvera pour ces circuits intermédiaires, de nombreuses variantes selon que l'on utilise des circuits d'air (air / air) des circuits d'eau (eau / eau) des mixtes (air / eau) et aussi des variantes avec de l'eau glycolée. (eau glycolée / eau)

c) quel est le besoin en température ?

- faut il monter au-delà de 60° C pour couvrir un chauffage existant par radiateurs ou seulement 35 ° C si le transfert de chaleur se fait via une dalle chauffante de conception récente.

- dans ce dernier cas va t-on aussi satisfaire aux besoins d'eau chaude sanitaire (ECS)

- ne veut on que couvrir l'ECS et donc de l'eau à 65 ° C par exemple.

- il peut aussi exister des combinaisons plancher chauffant pour une partie du logement et donc eau à 35 °C combiné avec des radiateurs pour quelques pièces, comme des chambres, avec radiateurs et eau à 60 ° C ou plus.

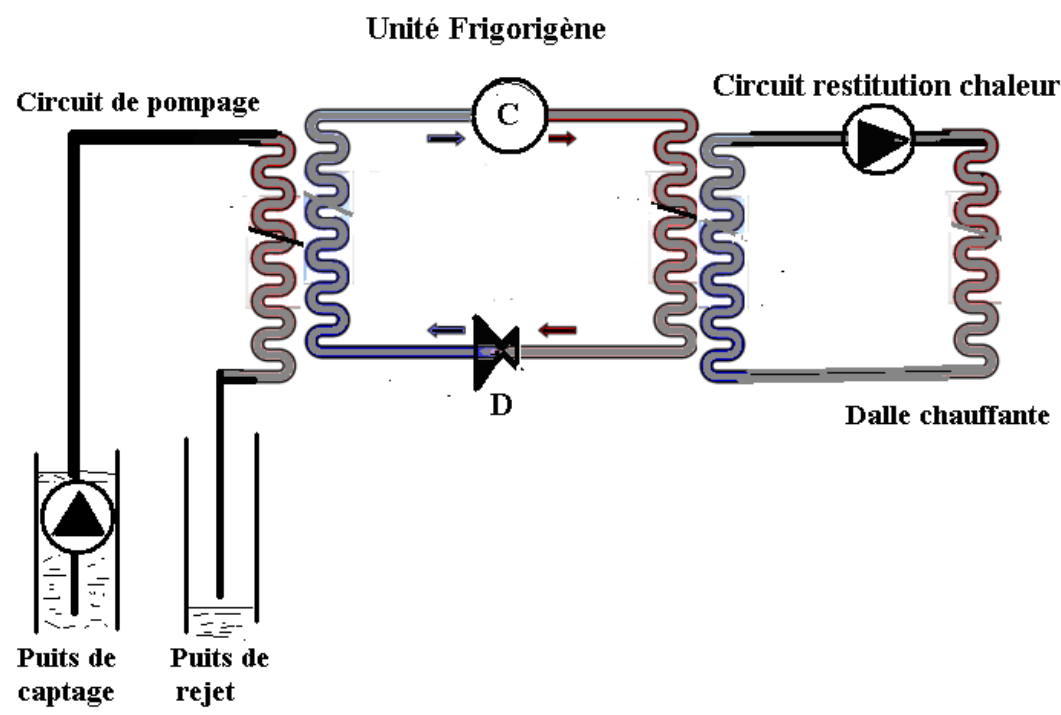
Pour couvrir tous ces cas nous allons partir de la description des solutions les plus couramment utilisées, en indiquant quelques variantes.

B1) PAC eau / eau

Ces PAC présentent les performances les plus spectaculaires, la seule restriction étant l'absence ou l'accès limité aux sources d'eau sur puits, sur nappe phréatique. Il faut aussi dans l'exemple des nappes phréatiques, qu'elles ne soient pas trop profondes.

Ces PAC se développent surtout dans le secteur tertiaire pour des installations de forte puissance.⁴

A l'unité frigorigène classique déjà présentée, sont adjoints 2 circuits intermédiaires.



Le premier circuit va pomper l'eau disponible et la rejeter plus froide. Dans le cas d'une nappe phréatique il faut une pompe immergée dans un forage profond généralement de 8 à 50 m suivant les régions). Le rejet se fera soit par un autre forage, soit par un puits perdu en aval de l'écoulement naturel.

Le second circuit classique de type chauffage central, alimente les tuyauteries de la ou des dalles chauffantes de la maison avec de l'eau à 35°C par exemple (variable selon les besoins de chauffe) ou des radiateurs avec des températures plus élevées par exemple 65 °C au plus froid de l'hiver

Dans le premier cas de la dalle chauffante et pour une eau zone froide entre 7 et 10 °C, le COP⁵ pratiquement constant peut atteindre ou dépasser 5..

Dans le 2° cas (radiateur) l'effet Carnot plus important le ramène, par exemple, à 2.9.

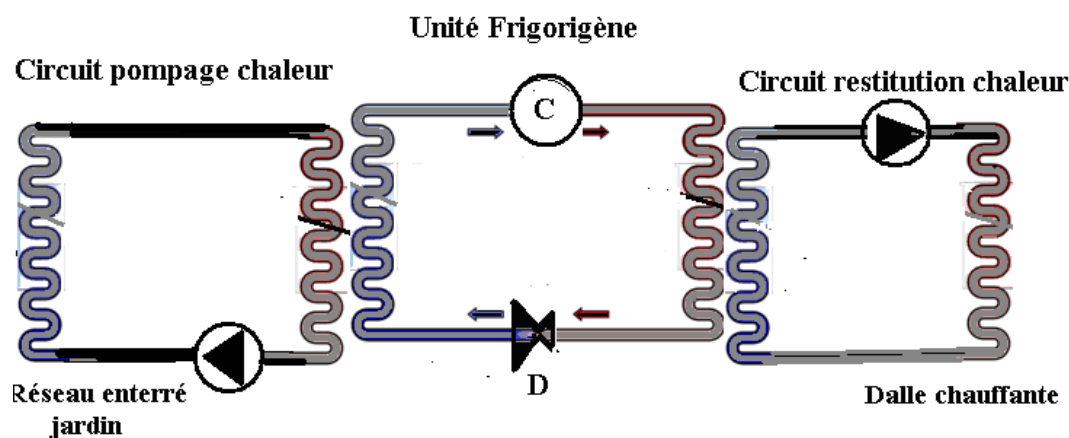
(un surdimensionnement des radiateurs permet une température d'eau plus basse favorable pour le COP)

B2) PAC capteurs de surface⁶ (eau glycolée / eau)

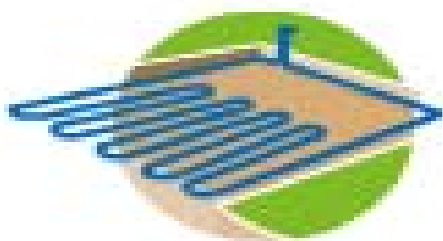
⁴ Un ensemble tertiaire (magasins bureaux...) est souvent très localisé. Si une nappe phréatique existe chacun voulant puiser son eau pour PAC, une limite peut très vite être atteinte. Les derniers arrivants ne seront pas autorisés à puiser.

⁵ Tous les chiffres donnés de COP sont des ordres de grandeur, les fabricants sont nombreux, un même fabricant peut aussi avoir des modèles différents.

Le développement de ces dernières années pour les constructions neuves, repose beaucoup, sur ce type d'installation. Il diffère du précédent par l'utilisation de la terre en surface comme zone froide.



Le circuit, pompage chaleur, est constitué d'un réseau de tubes (en général polyéthylène) de diamètre de 20 à 32 mm, enterrés dans lesquels circule un mélange d'eau et d'antigel (eau glycolée). Le réseau est installé sur un plan horizontal entre 60 et 90 cm de la surface.



Cette profondeur est choisie pour que la terre agisse comme un accumulateur de chaleur, qui se rechargera, une fois l'hiver passé et aussi en hiver pendant des périodes de redoux, par l'énergie solaire directe et les écoulements d'eau

En enterrant plus profondément le réseau, la température de la terre est un peu plus élevée, encore plus stable à moyen terme, sur un hiver et donc le COP serait plus élevé en début de vie. Mais la terre au voisinage se réchauffera moins en été et au fur et à mesure des années, elle se refroidira sans se « recharger » et les performances se détérioreront.⁷

La surface occupée par les capteurs dépend de la nature du sol (puissance extraite de 10 à 15 W/m linéaire tube, espacement des tubes de 40 à 60 cm) Il faut occuper environ 1.5 à 2 fois la surface à chauffer, soit par exemple 250 à 300 m² pour une surface à chauffer de 150m² de

⁶ Le terme géosolaire est souvent employé pour ce type d'installation. Barbarisme, cette appellation est préférable à géothermie même dite de surface, car le système repose sur l'inertie thermique du sol réchauffé par les rayonnements solaire toute l'année et non par la chaleur venant des profondeurs de la terre

⁷ L'optimum indiqué entre 60 et 90 cm, s'applique en France en plaine et basses altitudes (à adapter en altitudes élevées)

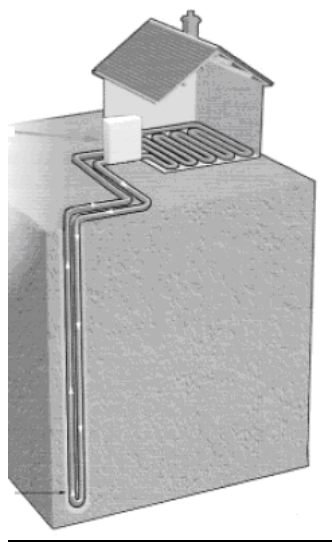
maison bien isolée (RT 2000) Cet espace doit être le plus possible ensoleillé, il peut être planté de gazon ou de petits arbustes, légumes...mais ne peut accepter d'arbres aux longues racines.

Le COP sera inférieur au cas précédent, du fait d'une température de sol moyenne inférieure à celle de l'eau de la nappe phréatique. Pour un sol à 0° C il peut valoir 4.2 dans le cas du chauffage d'une dalle à 35 °C et 2.5 pour une utilisation de radiateurs à 65 °C.

La température du sol n'étant pas rigoureusement constante, les performances varieront un peu en cours de saison. Le vrai COP moyen en région tempérée sera ainsi, en général, supérieur à la valeur repère contractuelle d'un sol à 0°C

B 3) Sondes verticales (PAC/SGV)

Le réseau de tubes horizontaux prévu dans le système de surface présenté ci dessus est remplacé par une ou plusieurs sondes verticales.



La sonde est constituée de 2 tubes d'échange en U, montés en parallèle, chacun formant une seule boucle verticale dans lequel circule l'eau glycolée. Le diamètre des tubes est compris entre 25 et 40 mm. La sonde est implantée dans un forage d'environ 100 mm de diamètre, de profondeur variant entre 50 et plus de 200 mètres. La longueur d'échange porte donc sur 4 fois la hauteur en forage. La puissance extraite varie de 30 à 60 W par mètre de sonde (selon les terrains)

Le vide entre les tubes d'échange et le sol foré, est comblé avec un mélange de ciment et d'argile. Un tube spécifique d'injection mis en place simultanément avec les tubes d'échanges dans le forage, sert à cette injection en fin de mise en place.

Si plusieurs puits sont nécessaires, ils doivent être espacés de plusieurs mètres (5 à 10)

Plus coûteux que les capteurs horizontaux de surface, ils présentent l'avantage d'occuper moins de surface au sol, de s'adapter ainsi davantage à la rénovation (pas de chamboulement du terrain déjà planté) et d'avoir un COP identique à ceux des systèmes eau / eau sur nappe phréatique, les meilleurs. Le COP est de 15 à 25 % plus élevé que celui d'une installation à capteurs de surface.

B 4) PAC aérothermiques

Le circuit dit intermédiaire de la zone froide, sera réalisé par un important brassage forcé d'air qui viendra lécher les tubes (à ailettes) comme pour un radiateur automobile. Dans les tubes circule donc directement le fluide frigorigène.

Le circuit intermédiaire de la zone chaude peut être un circuit d'eau (dalle ou radiateurs) comme les précédents donnant la combinaison air / eau, mais peut aussi être de l'air (air /air) le chauffage de la maison étant assuré par de l'air chaud pulsé. C'est le système le plus simple à mettre en place en rénovation et ainsi ce sont 50 000 PAC air/ai qui ont été installées en 2006 et 80 000 en 2007.

Contrairement aux systèmes précédents qui reposent sur une zone froide à forte inertie et de température peu variable, l'air voit sa température varier beaucoup y compris et surtout entre jour et nuit et atteindre les valeurs les plus basses, très en dessous de zéro lorsque les besoins de chauffage sont au maximum.

A ceci s'ajoutent les conséquences du givre potentiel qui peut conduire à ne pas utiliser la PAC air en dessous d'une certaine température (par exemple au voisinage de zéro) ou à adopter des systèmes de dégivrage intégré systématique (par l'inversion momentanée et périodique de cycle ou par la présence de résistances chauffantes) ce qui affecte le COP.

Par exemple pour une température d'air de + 7°C et la production d'eau pour dalle à 35° C un COP de 4.1 peut être envisagé, mais il tombe à 2.8 pour une température de – 7°C.

Cette variabilité y compris entre le jour et la nuit doit être prise en compte dans la spécification initiale du système. Elle peut conduire à un surdimensionnement, ou à choisir un appoint externe de chauffe (maintien de l'ancienne chaudière en rénovation, résistances chauffantes supplémentaires...). Cette baisse du COP s'accroît si l'objectif est de produire de l'eau à 65 °C pour alimenter des radiateurs, ce qui est un cas courant en rénovation. Par exemple avec une température d'air de - 7 °C, le COP tombe à 1.8.

Dans une région tempérée avec une température qui descend peu sous zéro et un dégivrage qui ne s'impose pratiquement jamais, le COP moyen (pondéré sur la période d'utilisation) peut atteindre 3.5 pour un chauffage à 35° C et 2.2 pour un chauffage à 65 °C.

En rénovation ce type de PAC peut donc être adopté en France dans les régions tempérées (ce qui couvre plus de la moitié du pays, sous réserve d'avoir en appoint un moyen de chauffe pour les rares périodes de grand froid.

Dans le Sud de la France, l'accent est mis sur la réversibilité et le passage en climatisation d'été, Ce choix qui peut conduire à un accroissement très important des dépenses énergétiques, s'il n'est pas bien maîtrisé avec sagesse, par l'utilisateur.

Il faut toutefois noter que les limitations de COP minima pour obtenir les aides (voir C) et d'autres impératifs sur ce type de matériel air (contraintes esthétiques et sonores) ne permettent souvent pas à ces solutions air de bénéficier de ces aides, ce qui défavorise ce type de choix.⁸

C) Coûts, rentabilité, retour sur investissement

Chaque cas mérite une étude particulière, aussi nous ne donnerons que des ordres de grandeur à titre de première indication.

Pour les investissements nous affichons les chiffres couramment avancés par la profession, nous avons aussi quelques références spécifiques⁹

⁸ Sur les 50 000 PAC air/air installées en 2006, seulement 10 000 étaient éligibles au crédit d'impôt. Les dispositions visent notamment à écarter du crédit d'impôt les choix qui s'apparentent plus à des climatiseurs réversibles qu'à de véritables pompes à chaleur.

⁹ Pour le détail de nos exemples, voir nos fiches pratiques

La filière est en plein développement, avec une forte industrialisation et l'entrée sur le marché de grands groupes. Ceci pourrait, a priori, conduire à une légère baisse des prix, mais l'expérience sur d'autres filières, montre qu'au contraire, par effet d'emballlement du à l'attrait des aides publiques, les prix ont tendance à monter. En sera-t-il de même ici ? Ou, peut on considérer que ces prix ne devraient pas évoluer dans les années à venir ?

En général déjà rentables, en comparaison avec les chauffages à combustibles fossiles, sans aide et encore plus avec aides, les solutions PAC s'imposeront encore plus avec l'augmentation inéluctable du prix de ces combustibles dans les années à venir.

Investissements :

Les coûts donnés par la profession selon l'ADEME, sont les suivants:

- Entre 60 et 90 € TTC par m² chauffé pour les PAC air/eau et air/air
(un exemple : PAC air/air, 135 m² : I = 8 640 €)
- Entre 70 et 100 € TTC par m² chauffé pour les PAC sol/sol et sol/eau
(systèmes non décrits en détail ci-dessus : le fluide frigorigène prend directement la chaleur sol)
- Entre 80 et 185 € TTC par m² chauffé pour les PAC eau glycolée /eau et eau/eau
(exemples : PAC de surface, 184 m² : I = 12 000 € ;
PAC à sondes verticales, 195 m² : I = 25 000 €

Les aides

« La loi de finances pour 2005 a créé un crédit d'impôt dédié au développement durable et aux économies d'énergie. Destinée à renforcer le caractère incitatif du dispositif fiscal en faveur des équipements de l'habitation principale, cette mesure est désormais ciblée sur les équipements les plus performants au plan énergétique ainsi que sur les équipements utilisant les énergies renouvelables. **Elle s'inscrit dans la stratégie mise en place pour réduire d'un facteur 4 nos émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050** »

Les dispositions fiscales permettant de déduire des impôts sur le revenu une partie des dépenses réalisées (le coût du matériel) pour les équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable sur les résidences principales **s'appliquent désormais aux PAC** ¹⁰

Le taux du crédit d'impôt est de 50% pour les dépenses effectuées entre le 1er janvier 2006 et le 31 décembre 2009 dans des habitations principales neuves ou anciennes.

La loi précise que le COP doit être > 3.3 (selon des arrêtés spécifiques)

Bilan en retour sur investissement

Chaque cas particulier mérite un bilan spécifique et il ne faudrait pas tirer de ce qui suit, des règles générales. Toutefois, pour fixer des ordres de grandeur, nous regardons à titre purement indicatif et didactique le cas d'une maison de 150 m² bien isolée (100 kWh/an/m²) soit 15 000 kWh/an de chauffage, avec comme point de repère initial, :les dépenses annuelles pour un chauffage électrique: 1365 € ¹¹

Comparaison des différentes solutions PAC avec le tout électrique (hypothèse d'un coût d'investissement tout électrique de 5 000 €)

¹⁰ Cette possibilité récente est toujours combattue par certains comme par le syndicat des énergies renouvelables (SER) notamment si la PAC se substitue au gaz
On trouve encore ce courant hostile à l'électricité !

¹¹ Base : 0.0463 € / kWh en HC (1/3 du temps) 0.0787 e/kWh en HP, TVA 19.6 % taxe locale 12 %

a) PAC de surface : Investissement 12 750 €, COP 4.2, dépenses électricité annuelles : 325 €
 Sans aide l'écart de dépenses d'investissement est récupéré en 12.3 ans. ;
 Avec les aides (3 000 €) ce temps est ramené à 9.4 ans

b) PAC sondes verticales : Investissement : 20 000 € (PAC 7 000, forage et sonde 6 000, installation 7 000) COP 5.2, dépenses annuelles : 263 €
 Sans aide l'écart de dépenses d'investissement est récupéré en 18.1 ans
 Avec les aides (3 500 € PAC + 2000 € sonde) ce temps est ramené à 13.2 ans

c) PAC air/eau : Investissement : 10 000 €, COP 3.5, dépenses annuelles : 390 €
 Sans aide l'écart de dépenses d'investissement est récupéré en 10.3 ans
 Avec les aides (3 000 €) ce temps est ramené à 7.2 ans

Comparaison entre une PAC de surface et un chauffage au fuel¹²

Dépenses annuelles en fuel de 1 125 €, soit + 800 € de plus que la PAC de surface.

Dans le cas d'une rénovation, avec le simple maintien de la chaudière existante, il faut 16 ans pour revenir sur l'investissement

Avec les aides, ce temps est ramené à 12.2 ans

Dans le cas d'une maison neuve ou remplacement de la chaudière, comme il faut investir dans cette dernière (estimation 8 000 €) hors aide il faut 6 ans pour revenir sur le surinvestissement et avec aides ce temps est de 2.2 ans

Comparaison une PAC de surface et un chauffage gaz (hypothèse: rendement de chaudière 85 %)

Dépenses annuelles de gaz : 761 €, soit 436 € de plus que la PAC de surface.

Dans le cas d'une maison neuve avec remplacement de la chaudière, avec investissement pour cette dernière (estimation 5 000 €) sans aide le retour sur investissement est de 17.8 ans ramené à 10.9 ans avec les aides.

Que la comparaison soit faite avec un chauffage fuel ou gaz, le succès actuel des installations PAC en maisons neuves, s'explique aisément, simplement basé sur les prix des combustibles fuel et gaz actuels.

Ce n'est pas un pari risqué de penser que ces prix devraient s'accroître beaucoup plus que ceux de l'électricité en France, si la production d'électricité à partir du nucléaire n'est pas remise en cause.

PAC et gains sur les rejets de CO²

La production d'un MWh (1 000 kWh) de chaleur par une chaudière émet annuellement 362 kg de CO²¹³ avec utilisation de fuel et 300 kg de CO² avec utilisation de gaz.

Ce rejet ne sera que de 65 kg en partant du réseau électrique français (importance du nucléaire et de l'hydraulique)

Pour l'exemple cité de la maison de 150 m² bien isolée appelant 15 000 kWh/an pour le chauffage, les rejets de CO² annuels seraient respectivement de :

- Chaudière au fuel : 5.4 tonnes
- Chaudière au gaz : 4.5 tonnes
- PAC de surface : 0.23 tonne
- PAC sondes verticales : 0.19 tonne

¹² Hypothèse : rendement chaudière 85 %

¹³ A l'utilisation 1 tep fuel émet 0.89 tonne de carbone, 1 tep gaz 0.74 t C 1 tep ≈ 11 660 kWh
 Ces valeurs doivent être légèrement corrigées (environ + 10 %) pour prendre en compte le CO₂ rejeté en amont (extraction et raffinage pour le fuel, transport pour le gaz)

- PAC air / eau : 0.28 tonne.

L'écart en faveur des PAC est d'environ 4 tonnes de CO² par an pour cette seule maison. C'est un facteur 20 sur les émissions de CO² qui peut être retenu.

En supposant un coût de la tonne de CO² évitée à 40 €, ce serait chaque année environ 160 € à mettre au crédit des logements équipés de PAC, chiffre passant à 400 € si la tonne est évaluée à 100 €. La prise en compte du coût carbone, sans être un facteur majeur en comparaison avec le retour sur investissement comme vu ci-dessus, pourrait néanmoins devenir significatif et les PAC s'imposer largement sans aide même dans le cas de la comparaison avec le gaz.

Selon les perspectives de croissance, le parc en 2015 pourrait être entre 1 et 2 millions d'équivalent logements équipés en PAC, les valeurs hautes supposant des évolutions technologiques déjà en cours (en particulier pour les hautes températures) surtout applicables sur le marché de la rénovation.

Ce serait déjà pour 2015, 4 à 8 millions de tonnes de CO² évitées, non rejetées. Un premier petit pas.

Le chauffage individuel et tertiaire étant source de l'émission de 121 millions de tonnes de CO² par an sur un total de 444. Le gain apporté par une forte expansion des PAC est évident.

Les PAC sont donc un chemin à prendre pour aller vers le facteur 4 en 2050.