François DRAIN Octobre 2023

Les pompes à chaleur (PAC)

Introduction

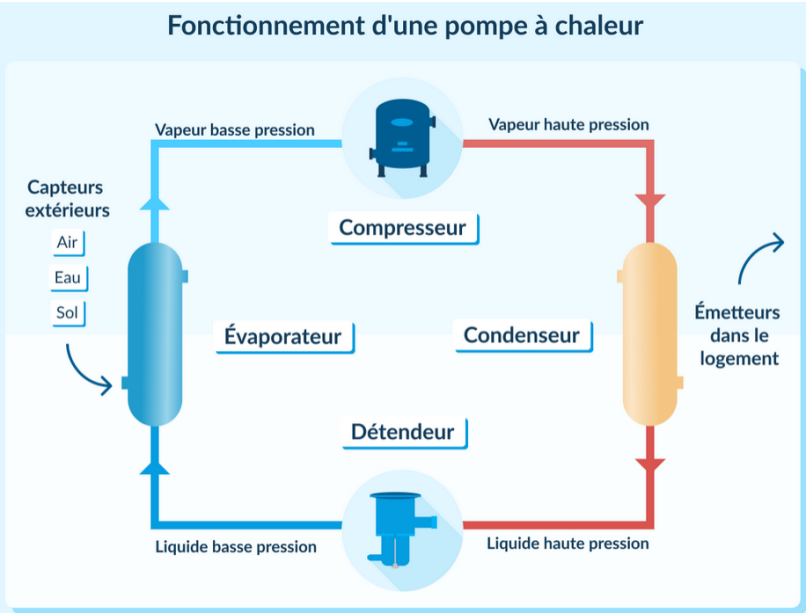
Le mot magique de la rénovation énergétique et de la lutte contre le réchauffement climatique ! Tout le monde en parle, mais ne sait souvent pas que ce terme regroupe différentes familles d'installations.

Cependant les pompes à chaleur sont déjà très répandues en Europe (près de 15 millions d'installations nouvelles en 2020) et assez anciennes : notre regretté collègue Michel Lung, que beaucoup d'entre vous ont connu, avait une pompe à chaleur dans les années 60 à Mareil-Marly !

Principe de fonctionnement

Pour **bien comprendre comment fonctionne une pompe à chaleur (PAC)**, on peut commencer tout simplement par comparer ce système de chauffage à un réfrigérateur dont on aurait inversé le principe pour qu'il produise de la chaleur plutôt que de la fraîcheur. Dans les faits, la pompe à chaleur prélève des calories au sein d'un milieu naturel : air, eau, sol… La chaleur ainsi captée est restituée au circuit de chauffage de l'habitation ou est utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire. Pour ce faire, ces calories sont transportées par un fluide frigorigène qui va subir différentes transformations. Celui-ci va passer par les différents composants de la pompe à chaleur qui sont au nombre de quatre : l'évaporateur, le compresseur, le condenseur et le détendeur.

- 1ère phase : Les calories de la source exploitée (air, eau, sol) vont permettre au fluide frigorigène de s'évaporer au niveau de l'évaporateur
- 2ème phase : Le gaz obtenu est comprimé au niveau du compresseur et monte ainsi en température
- 3ème phase : Il rejoint ensuite le condenseur où il passe à l'état liquide. En condensant, il libère de la chaleur qui est utilisée pour le chauffage
- 4ème phase : En passant par le détendeur, le fluide baisse en température et en pression. Un nouveau cycle peut alors recommencer



Description du système

Les différents composants :

La majorité des PAC comprend **2 unités reliées par une liaison frigorigène** :

- **Une unité extérieure** qui comporte un ventilateur, l'évaporateur, le compresseur, le détendeur.
- **Une unité intérieure** qui comporte l'échangeur thermique. Selon le type de PAC, elle est indépendante ou reliée au système de chauffage et au ballon d'eau chaude sanitaire (ECS). Dans ce cas elle peut être installée dans un sous-sol, un garage, une buanderie,

La liaison entre les unités extérieure et intérieure est de faible diamètre, de l'ordre du cm, et sa longueur peut être de 2 à 30 m en général.

PAC aérothermique air-air

Module intérieur

Module extérieur et télécommande

PAC aérothermique air/eau

Unité extérieure

Unité intérieure et module eau chaude

Les différents types

Il existe **plusieurs types de pompes à chaleur** dédiées au chauffage, que l'on peut classer en trois grandes catégories, selon la source extérieure :

- Les pompes à chaleur aérothermiques : dans cette catégorie sont regroupées les pompes à chaleur air/air et air/eau. Ces deux types de systèmes récupèrent les calories de l'air extérieur et s'en servent pour chauffer soit de l'eau soit de l'air, qui est alors diffusé au sein du logement. Ce sont de loin les types de PAC les plus répandus.
- Les pompes à chaleur géothermiques : l'énergie est ici puisée dans la terre via des capteurs en sous-sol et chauffe la maison via un circuit d'eau ou un plancher chauffant.
- Les pompes à chaleur hydrothermiques : cette famille comprend les équipements eau/eau. Ce type de dispositif capte les calories dans une source d'eau souterraine (nappe phréatique, forage) ou de surface (cours d'eau, nappe d'eau).

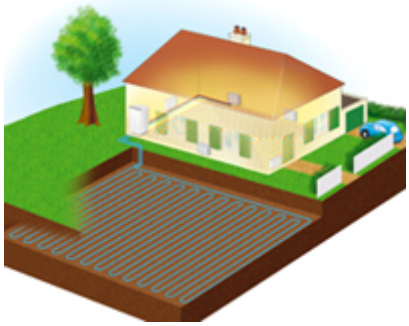
Description et avantages/inconvénients des différents type de PAC

- PAC aérothermiques air/air (très courantes dans les commerces, ou les bureaux, pour assurer chauffage et climatisation)
    - Ce sont les PAC les moins chères, à partir de moins de 2000 €, mais pour des puissances faibles ne permettant d'équiper qu'un nombre limité de pièces
    - Elles sont réversibles : chauffage en hiver, climatisation en été
    - La chaleur (ou le froid) est diffusée par une unité intérieure diffusant de l'air chaud ou froid
    - Le rendement est élevé : le COP est en général de 3 à 5, ce qui signifie que pour 1kWh consommé, la pompe produit entre 3 et 5 kWh d'énergie
    - Elles ne produisent pas d'eau chaude sanitaire, ce qui nécessite d'installer un chauffe-eau
    - Elles ne sont pas ou très peu éligibles au primes d'Etat
- PAC aérothermiques air/eau
    - Elles sont très bien adaptées pour remplacer une chaudière au gaz ou au fuel, la pompe se branche alors sur le circuit de chauffage existant
    - Elles peuvent produire aussi de l'eau chaude sanitaire
    - Rendement correct, voici un exemple

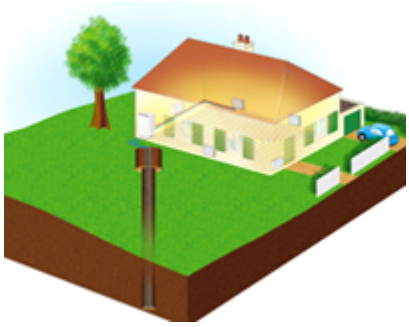
Température air (extérieur)	Température eau	COP
-7 °C	35°C	2,8
-7 °C	45°C	2,5
-7 °C	55°C	2
+7°C	35°C	4,7
+7°C	45°C	3,5
+7°C	55°C	3

    La température moyenne dans nos régions en période de chauffage est plutôt proche de 7°C, un COP moyen de 3 semble donc raisonnable
    - Une installation pour une maison de 200 m² environ coûte de l'ordre 15000 €
    - L'installation est assez simple : par rapport à la chaudière existante il faut ajouter l'unité extérieure, et la raccorder à l'unité intérieure
    - Elles sont éligibles aux primes d'Etat
- PAC géothermiques
    - Ces PAC sont plus couteuses à l'installation car elles nécessitent des capteurs extérieurs, horizontaux, ou verticaux, dans lequel circule le fluide frigorigène, ou éventuellement de l'eau. L'appellation « géothermie » est en fait abusive car la chaleur de la terre à faible profondeur est due au rayonnement solaire, la véritable géothermie nécessite des forages à plusieurs centaines de m.

- Capteurs horizontaux : le circuit est constitué de tubes (polyéthylène ou cuivre gainé de polyéthylène) en boucle enterrés à faible profondeur entre 0,6 et 1,2 m, sur une surface de 1,5 à 2 fois la surface à chauffer



- Capteurs verticaux : le circuit est composé de deux tubes verticaux de 75 m, distants de 10m et reliés entre eux pour former une boucle. La surface nécessaire est donc beaucoup plus faible qu'avec les capteurs horizontaux



- Les rendements sont élevés, avec des COP jusqu'à 7
- Elles peuvent produire aussi l'eau chaude sanitaire

- PAC hydrothermiques
  - La chaleur est prélevée dans une nappe phréatique, un lac, une réserve d'eau ou encore un cours d'eau, cette chaleur est ensuite transférée par la pompe à chaleur au circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage. Ce type de pompe à chaleur eau / eau est très performant quelle que soit la température hivernale. Le captage (de 30 à 100 m de profondeur) doit être réalisé par un foreur professionnel et déclaré à la DRIRE (direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement).
  - Ce type de pompe nécessite, la plupart du temps, le creusement de deux puits différents : un puits de captage et un puit de rejet de l'eau refroidie
  - Production d'eau chaude sanitaire possible

Remarque commune à toutes les PAC, sauf aérothermiques : pour avoir un rendement élevé, il est préférable de limiter la température de l'eau chaude, donc d'utiliser des radiateurs dimensionnés en conséquence.
En France en 2021, on a installé 838 000 PAC air/air, 267000 PAC air/eau, 2700 PAC géothermiques

Intérêt économique d'une PAC

Les PAC air/air sont en général des installations nouvelles et sont autant utilisées pour la climatisation que le chauffage, il est donc difficile de comparer avec l'existant.
La comparaison est plus facile avec une PAC air/eau remplaçant une chaudière au gaz, par exemple.
Exemple chiffré :

Pour une maison de 200m² environ, avec 4 occupants :
Hypothèse de consommation annuelle de 25000 kWh de gaz pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage, et de 4000 kWh d'électricité.
Passage en PAC air/eau avec un « COP » de 3, c'est-à-dire qu'il faut 1kWh d'électricité pour remplacer 3 kWh de gaz. La consommation électrique devient donc 25000/3 + 4000 =12333 kWh.

Tarif TTC en €	kWh gaz	Total gaz	Abonnement gaz	Total électricité	Abonnement électricité	Total	Gain avec PAC
Chaudière gaz (1)	0.0714	1785	269,40	903,84	187,56 (9 kVA)	3145 €	133 €
Chaudière gaz (2)	0,1	2500	269,40	903,84	187,56	3861 €	276 €
Chaudière gaz (3)	0,2	5000	269,40	903,84	187,56	6361 €	3347 €
Chaudière gaz (4)	0,4	10000	269,40	903,84	187,56	11361 €	8347 €
PAC	-	-	-	2786,84	226,68 (12 kVA)	3014 €	

(1) tarif bleu EdF au 1er septembre 2023, électricité = 0,226 €/kWh (hypothèse commune à tous les cas)
(2) environ tarif réglementé maximum en 2022
(3) tarif libre 2022, fourchette basse
(4) tarif libre 2022 fourchette haute

En conclusion, la PAC apporte une économie substantielle dès que le prix du gaz dépasse significativement 0,1 €/kWh. Au prix actuel du gaz, 3 fois moins cher que l'électricité, la seule économie est celle réalisée sur l'abonnement du gaz. Ceci est insuffisant pour compenser la différence d'investissement : de l'ordre de 8000 € pour l'installation d'une chaudière gaz à condensation, pratiquement le double pour une PAC air/eau (un peu moins si on est éligible aux primes d'Etat).

Conclusion

Les pompes à chaleur constituent indubitablement une alternative intéressante aux systèmes de chauffage fonctionnant aux combustibles fossiles, fuel, gaz et pour mémoire charbon.
Ceci est dû en particulier au fait que le principe de la pompe à chaleur (en mode chauffage) est de prélever de l'énergie extérieure « gratuite » à proportion de COP-1.

Certains modèles permettent aussi d'assurer la climatisation, ce qui est un avantage dans un contexte de canicules plus fréquentes.
Le remplacement du gaz, ou du fuel, par de l'électricité est intéressant du point de vue émission de CO_2 dans la mesure ou l'électricité est d'origine nucléaire, ou renouvelable (hydroélectricité, biomasse, ou à un moindre degré éolien ou solaire).
Lorsque l'électricité est produite majoritairement par du charbon ou du lignite, le biométhane est une meilleure solution (voir article sur la méthanisation dans les Plumes n°73 de juin 2022).

L'intérêt économique d'une PAC, pour le cas d'une PAC air/eau, est très dépendant du prix du gaz. Ces deux dernières années, son prix était assez volatil (normal pour un gaz !) à la hausse comme à la baisse, celui de l'électricité est plus stable.