



*PAC Calypso Ambiance*

## La France, première utilisatrice de la PAC en Europe

Depuis la naissance du chauffage électrique au début des années 1970, EDF a encouragé et contribué au développement des technologies permettant de réduire la consommation d'énergie de chauffage des bâtiments. Ces travaux, d'abord centrés sur l'isolation thermique, se sont rapidement tournés vers les technologies de chauffage et leur performance.

Face aux évolutions rapides des exigences en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments, la pompe à chaleur (PAC) n'a cessé de progresser pour devenir aujourd'hui la solution de référence pour la production de chaleur à haut rendement, faiblement carbonée et utilisant une importante part d'énergie renouvelable. EDF participe activement au développement de la pompe à chaleur pour répondre aux besoins du client (confort et performance énergétique) et à des enjeux industriels (maîtrise de la courbe de charge et évolutions tarifaires).

Aujourd'hui, 800 000 pompes à chaleur sont vendues chaque année en Europe. Avec plus de 180 000 machines vendues en 2014, la France est en tête de ce marché.

## La pompe à chaleur (PAC) dans les bâtiments

### UN PEU D'ÉNERGIE POUR BEAUCOUP DE CHALEUR

Depuis plus de trente ans la performance et la fiabilité des pompes à chaleur n'a cessé de progresser. La performance d'une PAC s'exprime par son coefficient de performance (COP), qui est le rapport « énergie thermique restituée / énergie électrique consommée ». Aujourd'hui les meilleures pompes à chaleur ont des COP égaux à 5. L'appareil vous restitue cinq fois plus d'énergie qu'il n'en consomme. Le client paye 20 pour récupérer 100 et les 80 d'écart sont fournis gratuitement par l'environnement extérieur ! Cette énergie verte et gratuite peut être récupérée aussi bien dans l'air, l'eau ou le sol. Ces dernières années, les innovations principales ont porté sur l'amélioration de la performance : compresseur à vitesse variable et moteur à aimants permanents, injection de vapeur, détendeur électronique, échangeurs de chaleur performants... Le champ d'investigation des travaux R&D sur les pompes à chaleur s'étend également aux problématiques d'intégration dans les bâtiments (compacité, acoustique, connexions aux capteurs et émetteurs de chaleur...), d'interactivité avec son environnement (communication avec le client, auto-adaptation selon les prévisions météorologiques...).



*PAC Alfea Extensa*

### La récupération de chaleur dans les eaux usées

Des pompes à chaleur dédiées à l'eau chaude sanitaire utilisent comme source froide « l'eau tiède » qui sort de nos lavabos, éviers, douches... elles bénéficient donc d'une source d'énergie à un plus haut niveau de température, pour atteindre des performances plus élevées. Ces systèmes plus appropriés aux systèmes collectifs ont des COP de 6 voire 7. **Davy MERLET et Paul GARRET, ingénieurs chercheurs à EDF R&D**

# La PAC, une énergie renouvelable

## Les PAC soufflent le chaud et le froid

Dans le secteur résidentiel individuel et collectif, les PAC sont utilisées pour satisfaire les besoins de chauffage et le rafraîchissement ainsi que la production d'eau chaude sanitaire. La satisfaction du client en termes de confort et de performance énergétique nécessite une bonne analyse des besoins (température de confort, déperditions du logement), le choix d'une PAC adaptée (température minimale de fonctionnement, puissance thermique disponible, température de sortie), une installation réalisée dans les règles de l'art, un réglage adapté de la régulation. La technologie Inverter est une avancée importante ; les PAC s'adaptent à des conditions d'environnement très variables. L'apparition sur le marché de PAC Haute Température a permis l'installation de PAC aussi bien en rénovation que dans les bâtiments neufs.

Des pompes à chaleur de faible puissance ont été développées pour satisfaire uniquement les besoins d'eau chaude sanitaire de logements individuels. Ces produits sont appelés chauffe-eau thermodynamiques et leurs ventes depuis 2010 ont été multipliées par 10, atteignant les 72500 unités en France en 2014.

### Une PAC pour réduire vos factures

Pour l'utilisateur, l'installation d'une PAC entraîne une diminution de sa facture énergétique puisque ce type de système exploite une énergie gratuite et renouvelable. L'énergie restituée est environ 4 fois supérieure à l'énergie électrique facturée.

Les PAC sont un des leviers permettant d'atteindre les objectifs d'énergie renouvelable en France en puisant de l'énergie dans une source froide renouvelable. De plus, l'utilisation de l'énergie électrique contribue à

la réduction des émissions de gaz à effet de serre, réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> d'un facteur 4 par rapport aux chaudières exploitant un combustible fossile.

### Une inversion du sens naturel du transfert de chaleur

Le principe de la PAC est d'exploiter une énergie gratuite et renouvelable pour chauffer l'intérieur d'un bâtiment. Cependant, lors des périodes froides, il n'y a pas, dans l'environnement proche du bâtiment, de milieu dont la température soit suffisante pour chauffer directement l'air intérieur du local. Le transfert de chaleur spontané va donc se faire de l'intérieur du local (à 20°C) vers l'extérieur (par exemple : 5°C), ce sont les déperditions. Or, même à une faible température, l'air extérieur contient une quantité d'énergie élevée. Le rôle de la PAC est donc d'inverser le sens naturel du transfert de chaleur en prélevant de l'énergie dans une source froide pour la restituer à l'intérieur du bâtiment.



## REPÈRES

**1748** : William Cullen démontre le principe de réfrigération artificielle.

**1824** : Le physicien français Sadi Carnot décrit les principes fondamentaux de la thermodynamique.

**1834** : J. Perkins construit le premier réfrigérateur basé sur un cycle de compression de vapeur.

**1852** : William Thomson (Lord Kelvin) décrit les bases théoriques sous-jacentes aux PAC et présente leur intérêt pour le chauffage des locaux.

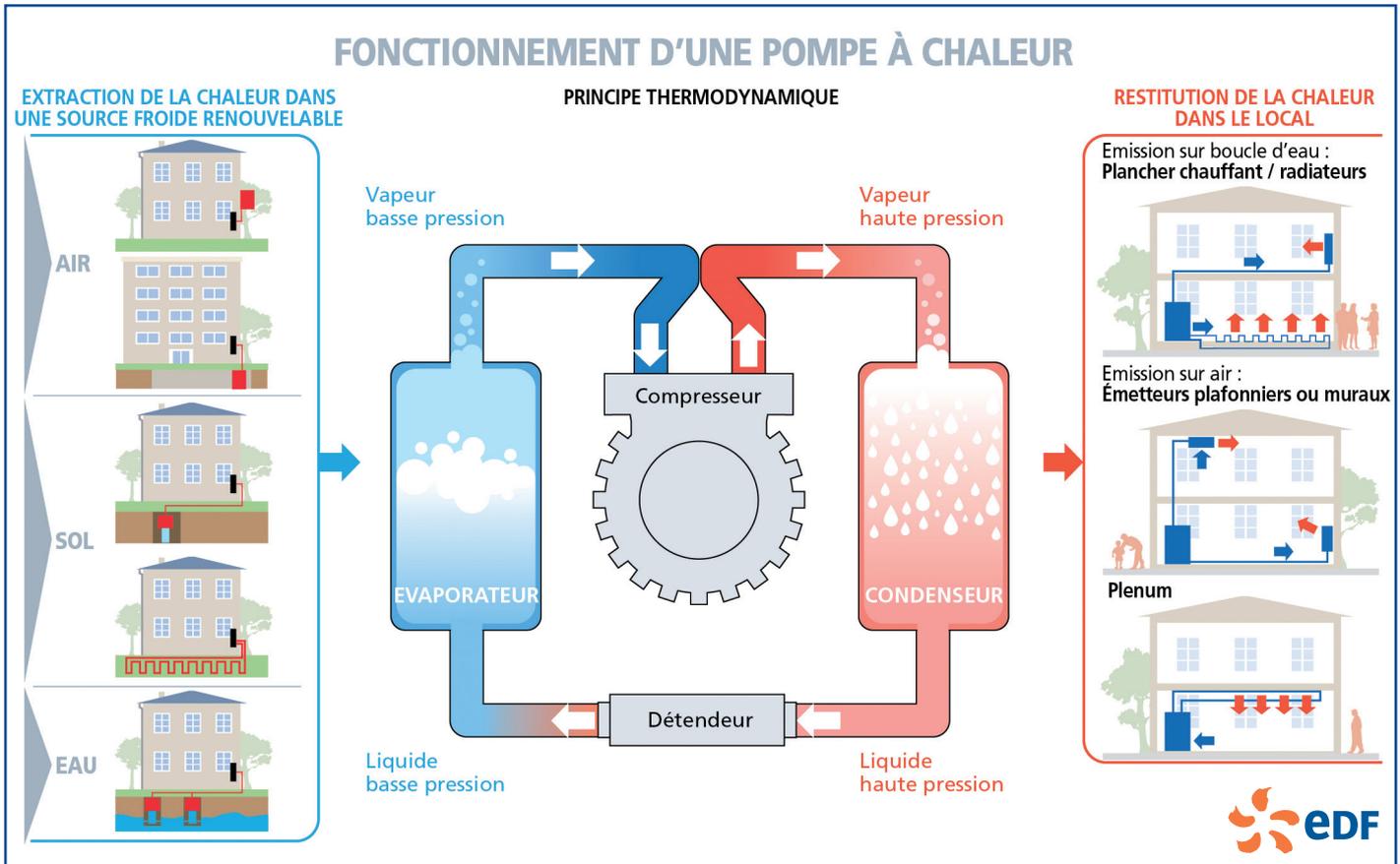
**1920** : Les premiers climatiseurs réversibles individuels sont produits aux Etats-Unis.

**1942/43** : Les premières PAC collectives sont installées dans la région de Zurich pour chauffer des bâtiments administratifs.

**1973-74** : Du fait du choc pétrolier, le programme PERCHE (PAC en Relève de Chaudière) est lancé (52 000 installations en 1982).

Depuis 2000 : De nombreuses aides à l'installation de PAC se sont succédées. Les technologies performantes se sont généralisées : compresseurs à vitesse variable, détendeurs électronique, moteurs à aimants permanents.

**2014** : Le marché français dépasse les 180000 unités/an pour un parc estimé à 1 700 000 PAC.



## LE SAVIEZ-VOUS ?

De l'énergie peut être prélevée dans un milieu jusqu'à  $-273.15^{\circ}\text{C}$ . En effet, le niveau de température quantifie l'agitation moléculaire au sein d'un milieu. Le niveau d'agitation moléculaire nulle, appelé aussi zéro absolu correspond au niveau  $-273.15$  de notre échelle en degrés Celsius. Or, dès lors qu'un milieu présente une agitation moléculaire, on peut en prélever de l'énergie. On comprend ainsi que même dans les endroits les plus froids de la planète, dont la température avoisine les  $-100^{\circ}\text{C}$ , de l'énergie peut être prélevée dans l'air.

### Un cycle thermodynamique basé sur 4 organes

Pour remplir son rôle, la PAC utilise un cycle thermodynamique au sein duquel circule un fluide frigorigène. L'énergie est captée dans la source froide par le biais d'un évaporateur au sein duquel circule le fluide frigorigène à basse pression et basse température (inférieure à celle de la source froide). Le transfert de chaleur se fait donc de la source froide vers le fluide frigorigène, qui passe ainsi d'un état diphasique (présence simultanée du fluide sous formes gazeuse et liquide) à l'état de vapeur. Ensuite, le compresseur permet d'amener cette vapeur à haute pression et haute température afin de restituer l'énergie puisée au niveau de température souhaité. Ce transfert de chaleur est réalisé au sein du condenseur où le fluide restitue son énergie à la source chaude en passant de l'état de vapeur à l'état de liquide. Enfin, le fluide frigorigène passe au travers du détendeur qui fait chuter sa pression et sa température, faisant ainsi passer le fluide frigorigène à l'état diphasique (liquide/vapeur) à basse pression.

Ce cycle représente un intérêt énergétique lorsque l'énergie est puisée dans une source froide gratuite et renouvelable. Seule la consommation du compresseur représente un coût pour l'utilisateur. L'énergie thermique fournie au bâtiment est plusieurs fois supérieure à l'énergie électrique consommée par le système : c'est le coefficient de performance (COP).

### Des sources disponibles dans l'environnement proche des bâtiments

Ce procédé permet donc d'exploiter n'importe quelle source d'énergie renouvelable disponible dans l'environnement proche d'un bâtiment, même si son niveau de température est beaucoup plus faible que celui de l'air intérieur du bâtiment. Cependant, plus sa température sera élevée, meilleur sera le COP du système. C'est pourquoi une PAC sur sol ou sur eau, qui fonctionnera aux alentours de  $12^{\circ}\text{C}$  pendant toute la saison de chauffe, aura de meilleures performances qu'une PAC fonctionnant sur l'air extérieur dont la température peut descendre sous les  $-20^{\circ}\text{C}$ .

## Perspectives

Les évolutions technologiques des 15 dernières années ont permis aux PAC de devenir des systèmes de chauffage fiables et performants. Les PAC HT sont aujourd'hui des solutions pertinentes en rénovation. La généralisation de la technologie Inverter a largement amélioré les performances et la polyvalence des produits.

### De nouveaux fluides frigorigènes moins polluants.

La réglementation européenne sur les fluides frigorigènes, appelée F-Gas, a été révisée en 2014. Dans le cadre de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, cette nouvelle version réglementaire impose, sur la période 2015-2030, des quotas de plus en plus restrictifs de mise sur le marché d'HydroFluoroCarbures (HFC) qui sont les principaux fluides frigorigènes utilisés actuellement. Les fluides à faible GWP (Potentiel de réchauffement global) seront donc les fluides du futur, parmi lesquels des fluides « naturels » comme le CO<sub>2</sub>, déjà utilisé dans certaines PAC, le propane et bien d'autres...

### Des énergies hybrides

Pour une partie du parc immobilier, des pompes à chaleur dites « hybrides »

se révèlent être des solutions particulièrement adaptées pour le chauffage. L'hybridation consiste à avoir dans une même machine une « pompe à chaleur électrique » et une « chaudière fossile ». La combinaison des deux systèmes existe déjà depuis longtemps (PAC en relève de chaudière) mais les « PAC hybrides », qui font tout juste leur entrée sur le marché, vont plus loin en étant équipées d'un système de régulation high-tech entre les deux parties. Ces machines hybrides nouvelle génération permettent en effet un fonctionnement optimal à tous les niveaux, que ce soit au niveau des émissions CO<sub>2</sub>, de la facture du client ou de l'adéquation temporelle entre la production, à l'échelle nationale, et la consommation d'électricité. Parfois méconnu du grand public, ce dernier aspect est pourtant crucial car il contribue à sécuriser l'approvisionnement de l'électricité sur le territoire et à conserver un réseau de qualité. Ces PAC hybrides restent performantes aussi bien d'un point de vue énergétique (COP élevé) que d'un point de vue écologique (faibles émissions CO<sub>2</sub>) grâce à un taux de fonctionnement de la partie PAC important (> 70%).

## Lexique

**Fluide frigorigène :** fluide circulant en cycle fermé au sein de la PAC. Il capte et restitue l'énergie dans le milieu souhaité en modifiant sa pression et ainsi sa température de changement d'état.

**Compresseur :** organe permettant d'augmenter la pression du fluide frigorigène à l'état vapeur.

**Condenseur :** échangeur de chaleur au sein duquel le fluide frigorigène passe de l'état vapeur à l'état liquide en cédant de la chaleur à la source chaude.

**Evaporateur :** échangeur de chaleur au sein duquel le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état vapeur en prélevant de la chaleur dans la source froide.

**Source froide :** milieu dans lequel la PAC puise son énergie. Le plus souvent, l'air extérieur ou le sol.

**Inverter :** technologie de compresseur à vitesse variable, permettant d'améliorer les performances de la PAC en adaptant sa puissance fournie au besoin et en diminuant ainsi le nombre de cycles « marche arrêt » (générateur de pertes).

**PAC Haute Température :** pompe à chaleur permettant d'atteindre des températures de chauffage jusqu'à 80°C, pouvant ainsi être installées sur des installations de chauffage central classique.

**GWP (Global Warning Potential) :** potentiel de réchauffement global. Indice de comparaison de l'effet de serre de différents gaz sur une durée choisie. Par convention, le GWP du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est égal à 1 et sert donc de référence.

**PAC Hybride :** association d'une PAC et d'une chaudière fossile. Pilotée intelligemment, cette combinaison s'avère très intéressante et permet de réaliser des économies d'énergie.

## > pour en savoir plus

Association Française pour les Pompes A Chaleur : <http://afpac.org/>

European Heat Pump Association : <http://www.ehpa.org/>

Une technologie dévoilée « La PAC industrielle » : <http://chercheurs.edf.com>



N'imprimez que si vous en avez l'utilité.

**EDF**  
22-30 avenue de Wagram 75382 Paris Cedex 08  
FRANCE

SA au capital de 930 004 234 euros - 552 081 317 R.C.S. Paris

[www.edf.fr](http://www.edf.fr)

**Publication EDF R&D** - 1 av Général de Gaulle 92141 Clamart Cedex  
Directeur de la publication : **Jean-Paul CHABARD**  
Secrétaire de rédaction : **Florence METGE-LAYMAJOUX**  
Le contenu de cette publication n'engage que son auteur et en aucune manière la responsabilité d'EDF.

© 2015 EDF

Toute reproduction interdite sans l'autorisation de l'auteur.  
Crédits photos : Atlantic, IDE - Robin SARIAN

Le groupe EDF est certifié ISO 14001

**Contact :**

[communication-rd@edf.fr](mailto:communication-rd@edf.fr)  
<http://chercheurs.edf.com>