

Évolution technologique et place sur le marché des pompes à chaleur air/eau et géothermiques

Par Pierre-Louis FRANÇOIS
Groupe Atlantic

Solution aujourd'hui éprouvée et ayant atteint la maturité industrielle, la technologie des pompes à chaleur (PAC) constitue désormais la base des politiques dites de « décarbonation » des usages chauffage et eau chaude des logements en Europe.

Ainsi, l'année dernière, les ventes ont dépassé le million de générateurs, contre moins de 300 000 en 2015. À plus de 90 %, il s'agit de PAC air/eau, aussi dénommées pompes à chaleur « aérothermiques ». Les 10 % restant, des PAC géothermiques, sont essentiellement utilisées en chaufferie de logements collectifs ou en amont des réseaux de chaleur.

Les climatiseurs réversibles, ou « PAC air/air », satisfont les besoins de rafraîchissement et affichent des performances énergétiques équivalentes à celles des PAC air/eau. Mais elles ne peuvent répondre aux besoins en eau chaude sanitaire et ne disposent pas des options *smart-grid* évoquées dans le corps de l'article. Enfin, elles ne peuvent pas se substituer à une installation existante utilisant un combustible fossile, sans modification au préalable du système de distribution de la chaleur dans la maison.

Les industriels de la PAC travaillent aujourd'hui à améliorer la performance énergétique et l'impact environnemental des fluides réfrigérants utilisés. Ils s'emploient aussi à réduire les coûts de revient et d'installation des PAC.

Ces dix dernières années, les objectifs ambitieux de décarbonation du bâtiment en Europe de l'Ouest ont remis la technologie des pompes à chaleur thermodynamiques électriques au premier plan de l'actualité du génie climatique.

Pour mémoire, cette technologie avait émergé une première fois dans les années 1980 à la suite du premier et surtout du second choc pétrolier, en particulier en France, en Allemagne et dans les pays scandinaves. Puis, dans les années 1990, à la suite du contre-choc pétrolier des années 1985-1986, la technologie pompe à chaleur (PAC) avait progressivement presque complètement disparu en Europe (à l'exception de la Suède).

Aujourd'hui, grâce aux « COP » (coefficients de performance) qu'elle affiche, qui se situent au minimum à 2,5 et peuvent aller jusqu'à 3,5 en aérothermie et jusqu'à 4 en géothermie, cette technologie est considérée comme le moyen le plus efficace au plan énergétique de satisfaire les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire des logements. Elle est également considérée comme le moyen de substitution idéale aux systèmes basés sur la combustion d'énergies fossiles (gaz naturel, propane ou fioul). En tant que générateur fonctionnant à l'électricité, une PAC ne génère pas (ou peu) de CO₂ : c'est réellement le cas dans des pays comme la France, la Suède, l'Autriche...

où la production d'électricité est déjà très largement décarbonée, ou ce l'est, potentiellement, dans les autres pays européens qui visent tous la « neutralité carbone » de leurs systèmes de production d'électricité. Enfin, si des marges de progression en termes d'environnement et de coût de revient restent possibles, la technologie des PAC électriques peut aujourd'hui être considérée comme maîtrisée au plan qualité et fiabilité, et disponible à échelle « industrielle ».

À l'inverse, les systèmes à base de combustibles biomasse restent, de fait, assez largement concentrés aux régions européennes proches de zones forestières. En outre, mal réglés, ils peuvent présenter l'inconvénient d'émettre des particules fines. Les réseaux de chaleur peuvent trouver leur justification environnementale en zone urbaine pour les immeubles et les bâtiments tertiaires sous réserve cependant qu'ils soient réellement alimentés par une chaufferie « EnR » ; on observe d'ailleurs que, parfois, c'est une installation de pompes à chaleur géothermiques qui compose cette chaufferie située en amont du réseau de chaleur.

Plusieurs des autres options technologiques innovantes évoquées ces dernières années comme la pile à combustible, les PAC gaz ou la micro-génération, en sont aujourd'hui encore au stade du laboratoire ou de la petite série, avec des coûts ou des perspectives de

coût à l'investissement et en maintenance aujourd'hui dissuasifs pour des usages de masse. Les chaudières « 100 % hydrogène » pourraient se développer à moyen-long terme, mais si au préalable tous les besoins de l'industrie et de la mobilité lourde sont satisfaits en recourant à un hydrogène réellement décarboné, et aussi si le réseau de distribution de gaz est rénové de sorte à pouvoir transporter le gaz très volatil qu'est la molécule d'H₂.

Dans le présent article, nous nous concentrons sur les tendances récentes observées en Europe de l'Ouest au regard de l'évolution du marché et des technologies des pompes à chaleur. À ce titre, nous allons discuter des trois points suivants :

- aérothermie ou géothermie (en maison individuelle, d'une part, et en logements collectifs, d'autre part) ?
- PAC et *smart grid* : hybride ou *buffer tank* ?
- PAC, émetteurs de chaleur et rafraîchissement : vecteur eau ou vecteur air ?

La question des réfrigérants mériterait également d'y consacrer des développements spécifiques. Ainsi, le règlement européen, dit « F-Gaz », interdit depuis 2000 le recours à des gaz fluorés CFC et HCFC. Le F-Gaz a déjà initié une interdiction progressive (à trois échéances : 2020, 2022-2025 et 2030) des gaz HFC ayant un « pouvoir de réchauffement élevé » (PPR, ou GWP – Gaz warming power). Mais, faute de disposer de l'espace nécessaire dans le présent numéro de *Réalités industrielles* (pourtant très conséquent), et comme les options technologiques et industrielles ne se dessinent pas encore clairement dans ce domaine, cette thématique ne sera pas reprise dans le présent article.

Aérothermie ou géothermie ?

L'Association européenne du chauffage (EHI) collationne les statistiques relatives aux marchés des générateurs de chauffage dans les douze principaux pays européens⁽¹⁾. À partir de cet échantillon très représentatif, l'observation peut être faite que le marché européen de la PAC « hydraulique »⁽²⁾ est passé de 280 000 unités en 2015 à un peu plus de 1 million en 2021⁽³⁾.

Au titre de cette même année, le nombre des PAC géothermiques n'a été que de 99 400 générateurs, soit moins de 10 % du total. Cette proportion recule chaque année : elle s'élevait à 25 % en 2015 et a été de moins de 10 % en 2021.

⁽¹⁾ Autriche, Belgique, Danemark, France, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Pologne, Espagne, Suède, Suisse et Royaume-Uni.

⁽²⁾ Le marché des pompes à chaleur « hydrauliques », c'est-à-dire à vecteur de diffusion eau, recouvre le segment des « aérothermie » – ou PAC air/eau – et « géothermie », qui elles-mêmes peuvent être de deux types : eau/eau ou sol/eau (dans le premier cas, la chaleur du sol est captée par le fluide réfrigérant ; dans le second cas, par une boucle d'eau).

⁽³⁾ À titre de comparaison, le marché des générateurs à combustibles fossiles (gaz, fioul ou propane) s'est élevé à 5,9 millions en 2021.

Ce recul s'observe dans tous les pays : en Allemagne, par exemple, la part de la géothermie a été divisée par deux entre 2015 (30 % du marché) et 2021 (15 % du marché). En Suède, le pays probablement le plus froid d'Europe, la géothermie est également devenue minoritaire, passant de 55 % en 2015 à 39 % en 2021.

Quel que soit le pays et ses conditions climatiques, la géothermie est en effet toujours plus complexe et coûteuse à installer : même si les subventions publiques sont généralement d'un montant plus élevé, en individuel le surcoût net n'est pas compensé par les économies générées lors de l'exploitation. La précision des régulations modulantes des PAC aérothermie de nouvelle génération, dites « régulation inverser », permet en effet, aujourd'hui, d'adapter rapidement la puissance délivrée par la PAC aux conditions de température extérieure, un processus qui n'était pas réellement maîtrisé autrefois.

Mais plus la puissance est élevée, et plus le surcoût de la géothermie peut trouver une justification et fonder le recours à cette technologie. Ainsi, par exemple, en Suisse, la géothermie ne représente plus que 27 % de l'ensemble des marchés individuel et collectif de la pompe à chaleur. Mais, au-dessus de 20 KW, elle en représente 62 %. En outre, en zone urbaine, la solution géothermie permet de placer la PAC directement dans le local de la chaufferie de l'immeuble, libérant ainsi de la place sur le toit, sans être contraint d'installer en façade une unité extérieure de forte puissance, et donc de niveau acoustique élevé.

PAC et *smart grid* : hybride ou *buffer tank* ?

Dans la très grande majorité des pays européens, la « pointe » de consommation électrique se situe en hiver : dans ces pays, les besoins en chauffage et en éclairage sont en effet plus importants que les besoins de climatisation (à l'inverse d'un pays comme le Japon, où la « pointe » se situe en été). Or, le COP d'une PAC hydraulique diminue avec la baisse de la température du circuit de chauffage. Dans le cas d'une aérothermie, il diminue aussi quand la température de l'air extérieur chute.

Deux moyens sont aujourd'hui mis en œuvre pour limiter l'effet de pointe généré par l'utilisation des pompes à chaleur :

- en Allemagne et en Autriche, se multiplie l'installation de *buffer tanks*, ou ballons de stockage de l'eau chaude : la chaleur est stockée pendant les heures creuses, quand l'électricité s'avère la plus disponible pour le producteur d'électricité et la moins coûteuse pour le consommateur, en raison d'une politique tarifaire adaptée ;
- en Italie et aux Pays-Bas, se développent des systèmes « hybrides » : la PAC satisfait le besoin en chaleur sur l'essentiel de l'année ; quand la couverture du besoin en chaleur par un PAC conduit à un appel de puissance électrique jugé excessif, une source d'appoint (du gaz généralement, ou éventuellement du fioul) prend le relais.

La France a été un pays européen pionnier en matière de développement de systèmes *smart grid* avec l'utilisation de chauffe-eau à accumulation heures creuses/heures pleines⁽⁴⁾. Curieusement, la France n'a à ce jour développé que de façon marginale, l'une ou l'autre des deux options précitées. Après avoir développé des PAC dite « haute température », dans les zones froides, la filière d'installation hexagonale découvre de plus en plus l'intérêt de la solution hybride. Mais la tarification de l'électricité n'incite encore que marginalement le consommateur à recourir à une telle option.

On observe d'ailleurs le même phénomène au niveau des producteurs indépendants d'eau chaude sanitaire : là où le traditionnel « cumulus » fonctionnait quasi systématiquement sur une base heures creuses/heures pleines, les chauffe-eau thermodynamiques fonctionnent le plus souvent en alimentation continue.

Émetteurs et rafraîchissement : vecteur eau ou vecteur air ?

En parallèle de l'essor des pompes à chaleur hydrauliques, et sous l'effet du réchauffement climatique et de l'accroissement induit de la demande de rafraîchissement, le marché des climatiseurs ou « pompes à chaleur air/air » se développe dans une majorité de pays européens. Par nature, les PAC air/air fonctionnent sur la base du « vecteur air » et non du « vecteur eau », comme les PAC hydrauliques.

⁽⁴⁾ Pour réguler la production de ses centrales nucléaires, la Belgique en avait fait de même. C'est également le cas de la Suisse et de l'Autriche, mais cette fois pour gérer la saisonnalité de la production hydraulique.

Les COP des PAC air/air sont très voisins de ceux des PAC air/eau. Mais au regard des objectifs de décarbonation les PAC hydrauliques, aérothermiques ou géothermiques présentent par rapport aux PAC air/air les avantages suivants :

- en sus des calories de chauffage, elles peuvent produire l'eau chaude sanitaire requise ;
- en rénovation de logements chauffés au gaz ou au fioul, elles fonctionnent avec le vecteur eau et peuvent utiliser le système d'émetteurs – radiateurs ou planchers « eau chaude » – déjà en place dans le logement ;
- elles permettent un pilotage *smart grid* par le biais soit de la solution ballon-tampon, soit d'une solution hybride.

Aujourd'hui, du fait du besoin d'ECS en résidentiel, les PAC hydrauliques se diffusent donc presque exclusivement dans les logements, les maisons individuelles notamment. Les PAC air/air se concentrent surtout dans le tertiaire, les bureaux et les hôtels en particulier, où le besoin de rafraîchissement est souvent plus important que le besoin de chauffage et où le besoin d'eau chaude sanitaire est plus limité.

Comme les PAC air/air, les PAC hydrauliques peuvent fournir un « confort 4 saisons ». Le rafraîchissement peut même être apporté par une solution « passive », c'est-à-dire sans consommation électrique, à travers la mise en place d'un « puits canadien ». Dans ce cas, notamment dans la construction neuve de maisons individuelles fortement isolées, on privilégiera des diffuseurs au plafond de préférence à une diffusion *via* le plancher, par nature à forte inertie et qui peut être source de condensation sur le sol.