LA PAC AU SERVICE DU CONFORT THERMIQUE : RETOURS D'EXPÉRIENCE

Avec une progression de 16 % des ventes en 2018 par apport à 2017 (source PAC&Climinfo) et de 82 % entre 2012 et 2018, la pompe à chaleur sera l'une des composantes de la réussite de la loi de transition énergétique et de la tenue des engagements de la France sur le développement des ENR. Face à ces enjeux de société, la PAC est une solution très intéressante, elle apporte le confort, des économies d'énergie qui se traduisent par des économies financières, tout en répondant aux défis environnementaux car elle permet de réduire très fortement les émissions de CO_2.

Nous avons pour ce dossier souhaité apporter la preuve par l'exemple en montrant des réalisations exemplaires avec des retours d'expériences mesurés tels que le complexe sportif et culturel du Pont du Château, EDF lab Saclay, l'installation d'une PAC Hybride fioul dans une mairie rurale, les résultats d'une PAC à absorption gaz dans un groupe scolaire, et la première opération de PAC haute température en récupération sur l'eau de tour aéro-réfrigérante en industrie.

Dossier coordonné par José Naveteur, AICVF, comité de rédaction de la revue CVC

Le Caméléon : un complexe sportif et culturel à haute performance énergétique

PAC sur sondes

Géocooling

Pierrick Mandrou et José Naveteur, EDF R&D ; Jean-Hugues Roy, bureau d'études R3i ; Christian Tamas, mairie de Pont-du-Château ; Thierry Mège et Virginie Robert, EDF Collectivités Territoriales

Inauguré en juin 2016, Le Caméléon est un équipement collectif dont le projet a été porté par la ville de Pont-du-Château et la communauté urbaine Clermont Auvergne Métropole (63). Pour ce bâtiment innovant, utilisant des technologies peu carbonées, EDF R&D a contribué à la définition et la mise en service d'un système de production d'énergie qui associe géothermie et pompe à chaleur.

Le Complexe Culturel et Sportif de Pont du Château, baptisé « Le caméléon », est le premier bâtiment d'un éco quartier valorisant les ressources locales en énergie renouvelable et réduisant son empreinte carbone. Ce complexe, d'une surface totale de 4225 m² SHON, se compose d'un gymnase , d'une salle de spectacle et d'un espace polyvalent. Les cabinets RUDY RICCIOTI (architecte mandataire) et AD QUAT ARCHITECTURE ont été sollicités pour assurer la maîtrise d'œuvre de ce projet innovant. Les études des différents lots ont été confiées au bureau d'études thermiques R3i avec

notamment la définition des systèmes de Chauffage, Ventilation, Conditionnement d'air (CVC) et de production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS). Ces derniers ont été réalisés par l'entreprise CF2C.

La performance du projet est de 10 % supérieure aux exigences de la RT2012. Le chauffage du bâtiment est assuré par une Pompe à Chaleur (PAC) sur sondes géothermales. Ces sondes garantissent également le rafraîchissement par géocooling en été.

Description

Des besoins de chauffage et de rafraîchissement limités

L'enfouissement partiel des parois verticales et la végétalisation de la toiture contribuent à une bonne isolation thermique du bâtiment. Les déperditions totales du bâtiment ne sont que de 0,36 W/m².°C. Les murs en contact direct avec l'extérieur sont constitués de béton d'épaisseur 35 cm et d'une isolation thermique intérieure par panneaux type Rockmur de 15 cm d'épaisseur (U = 0,24 W/m².°C). La toiture végétale, constituée de 6 à 20 cm de terre, est isolée par des panneaux en laine de roche d'épaisseur 18 cm, complétée par un isolant phonique selon les zones (U variant de 0.1 à 0,2 W/m².°C). Le plancher sur terre-plein est isolé sur toute sa surface par des panneaux de PSE (ROOFMAT) d'épaisseur 8 cm (Ue : 0,12 W/m².°C). Les vitrages sont de type double vitrage renforcé (U = 2,1 W/m².°C). L'ensemble du bâtiment répond au-delà des exigences réglementaires relatives à la conception bioclimatique (Bbio = 135 pour Bbiomax = 152 soit -12 %).

Des systèmes énergétiques performants

La production de chauffage est assurée par une PAC de marque Lennox type SHW d'une puissance de 157 kWh thermique, reliée à un ensemble de 27 sondes géothermiques d'une profondeur de 100 m. Une chaudière électrique de 91 kW pilotée par GTC (Gestion Technique Centralisée de marque Meta Productique META 2e) vient en appoint lorsque la PAC n'assure plus la loi d'eau en cas de froids extrêmes ou lors d'opérations de maintenance. Le fonctionnement avec un DT de 10 °C (plutôt que 5 °C) entre entrée et sortie condenseur de la PAC permet de réduire de 50 % les débits pour amener la même puissance aux émetteurs et permet ainsi de réduire le dimensionnement des circulateurs et, par conséquent, leur consommation et leur coût.

En été, un échangeur placé en parallèle de la PAC, permet de bypasser cette dernière et d'assurer le rafraîchissement ›››

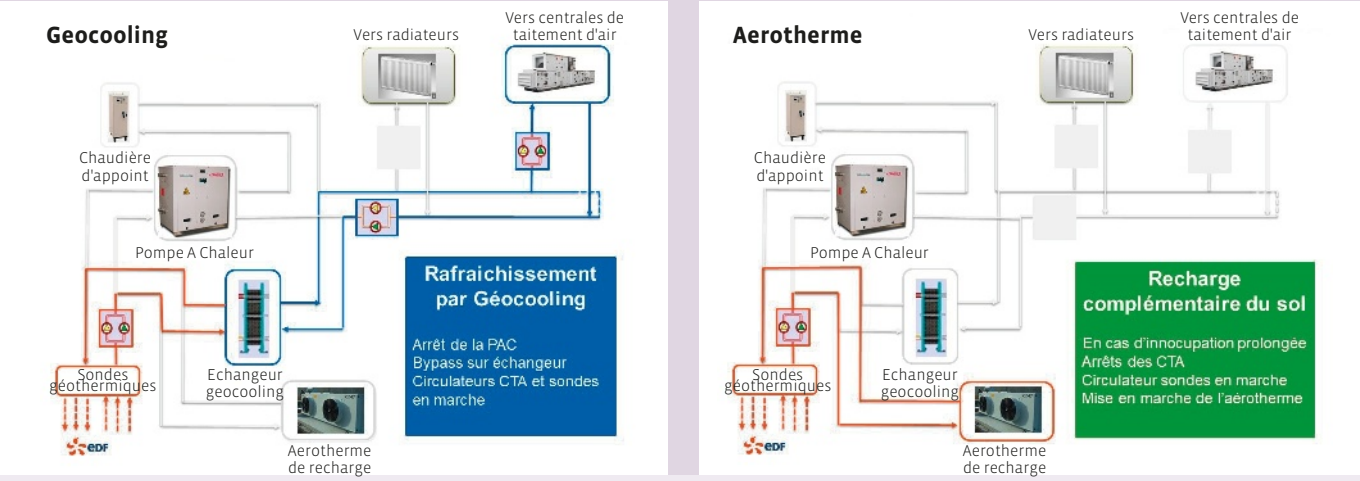

Figure 1 Schémas de principe du fonctionnement de l'installation dans les modes géocooling et aérotherme

››› du bâtiment en géocooling. En cas de forte chaleur, la réversibilité de la PAC permet également de compléter l'apport du géocooling (› **figure 1**).

Durant les phases d'inactivité (en août), un aérotherme pouvant être relié directement aux sondes par un jeu de vannes, permet de compléter la recharge du sol. Ce dispositif a été conçu pour tenir compte de la conductivité moyenne du sol (1,6 W/m.K) pour lequel une recharge annuelle est indispensable pour éviter tout déséquilibre.

Le chauffage et le rafraîchissement des différents espaces sont assurés par des Centrales de Traitement d'Air (CTA) équipées de batteries à eau alimentées par la PAC. Ces CTA sont de type double flux à récupérateur à plaques de type CLIMACIAT Airtech. Un bypass sur l'échangeur de récupération permet le fonctionnement en free-cooling lors des périodes estivales.

Des résultats remarquables

En 2018, la consommation totale en énergie finale du site s'élève à 54 kWhef/m².an, en baisse de 32 % par rapport à 2017, année lors de laquelle il a été procédé à des réglages. Cette tendance se constate sur la plupart des usages, conséquence d'une bonne gestion des équipements (intermittence, réduit de chauffage). Sur les 5 usages réglementaires (que sont le chauffage, la ventilation, le rafraîchissement, l'éclairage et la production d'Eau Chaude Sanitaire), le total de la consommation est de 40 kWhef/m².an, soit 102 kWhep/m².an d'énergie primaire correspondant à une étiquette C au sens du Diagnostic Performance Énergétique [1] (› **figure 2**).

En termes de consommation sur le poste CVC

Le poste CVC représente moins de la moitié de la consommation totale avec 26 kWhef/m². La consommation de chauffage s'élève à 12 kWhef/m².an. En rapportant la production de chaleur de la PAC à sa consommation électrique, le COP machine est de 3.7. En incluant les circulateurs de sondes et l'appoint chaudière, le COP moyen annuel de l'installation atteint 2.7. L'appoint par chaudière, faiblement sollicité durant l'hiver 2017-2018, représente 10 % de la consommation de chauffage (› **figure 3**).

En terme de confort d'été assuré par géocooling

Bien que la température extérieure dépasse parfois les 30°C, en juillet notamment, la température d'ambiance constatée dans les locaux n'excède pas 26°C sur la même période, avec des températures de départ en eau de l'ordre de 17°C. En rapportant la production de froid à la consommation des circulateurs, le geocooling permet ainsi d'obtenir un coefficient d'efficacité du système (EER) supérieur à 7 sur les mois de juillet, août et septembre tout en garantissant le confort des occupants.

En terme d'émissions carbone

En termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES), le total des émissions sur les 5 usages réglementaires représente 3.9 kgeqCO_2/m².an, correspondant à la classe B au sens de l'affichage des étiquettes climat du DPE. En comparaison à un système gaz avec une hypothèse de rendement de 95 % sur PCS, la solution géothermie permet une réduction des émissions GES sur le poste chauffage de 75 % soit une économie de 31 teqCO_2/an sur la totalité des émissions du bâtiment.

En termes de coûts d'exploitation

Le coût de production global s'élève à 41 €HTVA du MWh chaud, en incluant les pompes de sonde et l'appoint électrique, soit une économie de plus de 25 % par rapport au coût de production d'une solution chaudière gaz. Dans ces conditions, le cout du poste énergie reste particulièrement faible puisqu'il atteint en moyenne 6.26 €HTVA/m² sur le total des usages (chiffres 2018).

Conclusion

Une consommation en énergie primaire de l'ordre de 100 kWhep/m².an sur les 5 usages et des émissions directes de Gaz à effet de serre inférieures à 4 kgCO_2/m².an démontrent que la géothermie avec PAC est une solution performante pour ce type de bâtiment au caractère culturel et sportif. Cette opération atteste également l'importance du suivi de l'exploitation durant l'année de mise en service avec un gain sur les consommations de plus de 30 % en 2018 grâce notamment aux préconisations d'EDF R&D sur la gestion des équipements et la réactivité du maître d'ouvrage. ■

[1] Diagnostic Performance Énergétique selon l'arrête du 8 février 2012 - formulaire 6.3.c - Établissement recevant du public

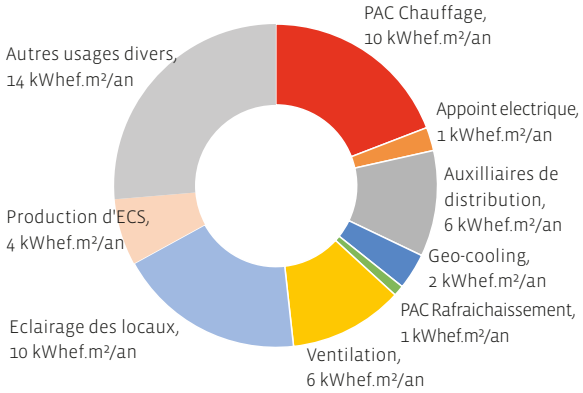

Figure 2 Répartition de la consommation annuelle par usage en kWh/m² d'énergie finale (EDF R&D 2018)

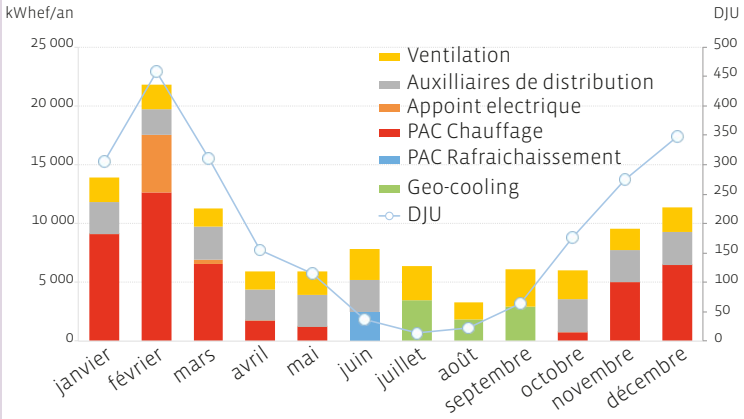

Figure 3 Évolution de la consommation pour les usages CVC en kWh d'énergie finale (EDF R&D 2018)