



GÉNIE CLIMATIQUE

# L'ÉVOLUTION DES SOLUTIONS DEPUIS 2000

## 2<sup>e</sup> volet : ventilation et climatisation

TEXTE :  
PASCAL POGGI  
PHOTOS :  
KAMPMANN,  
PASCAL POGGI/  
AQC, SWEGON

La Directive ErP, le Règlement F-Gaz et l'émergence du numérique et des objets connectés ont fortement pesé sur l'évolution technique des solutions de climatisation et de ventilation depuis 18 ans.



1 Photo Swegon



2 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC



3 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC

La Directive ErP (Energy related products, dite aussi écoConception ou écoDesign) est l'un des principaux moteurs de l'évolution des technologies de chauffage et de ventilation. Les climatiseurs, les groupes de production d'eau glacée, les roof-tops et autres dry-coolers, de même que tous les caissons de ventilation, domestiques ou tertiaires, sont tous concernés par cette Directive et ses Règlements d'application. L'autre principal moteur est le Règlement F-Gaz, entré en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2015 dans sa version révisée et visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en programmant une réduction des quantités de HFC utilisés en Europe. Sans oublier l'influence exercée par le déploiement rapide des solutions numériques, entamé au tournant 2010 par Nest.

### Ventilation : la singularité française

Concernant la ventilation, la Directive ErP a produit ses effets à partir de 2015. Jusqu'à cette date, la ventilation sur le marché français était solidement calée sur le simple flux autoréglable, avec du simple flux hygroréglable pour les bâtiments les plus performants et une poignée de caissons double flux vendus chaque année en tertiaire. La réglementation française exerce en effet un double effet sur la ventilation. Premièrement, elle impose en logement des débits minimaux de ventilation – considérés depuis longtemps comme trop bas – pour assurer une bonne Qualité d'air intérieur (QAI). Mais deuxièmement, les réglementations thermiques successives pénalisent les débits de ventilation, considérant qu'il s'agit de pertes thermiques. Un remède simple aurait été l'augmentation des débits pour la QAI et le développement du double flux avec récupération de chaleur. Mais si les RT 2005 puis 2012 valorisent la récupération de chaleur, elles pénalisent aussi fortement les consommations électriques des deux ventilateurs présents dans les groupes double flux. Et la question de l'augmentation des débits de ventilation pour améliorer la QAI n'a pas progressé. La solution de base de la ventilation en France demeure donc le simple flux.

Par conséquent, comme les concepteurs et les installateurs n'ont pas l'habitude du double flux, il est souvent mal dimensionné et posé de manière trop coûteuse. Dans la première maison labélisée E+C- à Montlouis-sur-Loire (37), le double flux *InspirAIR Home* d'Aldes est revenu à 7 000 euros HT fourni/posé. Bien sûr c'est un double flux haut de gamme avec une exceptionnelle qualité de filtration (son filtre antibactérien retient 99 % des pollens, 99 % des particules fines PM10 et PM2.5 et jusqu'à 60 % des virus). Son taux de récupération de chaleur atteint 90 % et il est asservi à une sonde de CO<sub>2</sub> pour moduler automatiquement son débit de ventilation. Mais ce montant représente 127 % du coût de la fourniture et pose du chauffage dans la même maison (chaudière murale gaz à condensation à ventouse et deux planchers chauffants). Encore aujourd'hui, les concepteurs considèrent les débits de ventilation réglementaires comme des valeurs à atteindre et à ne pas dépasser. Résultat, la VMC simple flux continue de progresser

1 Les poutres froides étaient largement favorisées par les calculs RT 2005 et la RTex. Pendant quelques années, elles ont constitué la solution principale de chauffage, rafraîchissement et diffusion d'air neuf hygiénique dans les bâtiments de bureaux neufs et réhabilités. La méthode de calcul RT 2012 a modifié leur contribution à la performance thermique globale réglementaire des bâtiments neufs. Si elles sont encore largement déployées en réhabilitation, elles ont tendance à perdre du terrain en construction neuve.

2 Si toute l'Europe est passée à la ventilation double flux, seul le tertiaire l'a adoptée en France. La ventilation domestique, sauf dans les bâtiments cherchant une performance élevée du type certification Passivhaus, demeure en simple flux, mais hygroréglable au lieu d'autoréglable.

3 Les caissons extraction et insufflation séparés de Robatherm sont raccordés par une récupération de chaleur sous eau glycolée et pilotés par un même automate comme s'ils étaient une seule machine.

en installations domestiques individuelles et collectives, atteignant 773 452 caissons en 2017 (+2,5 % par rapport à 2016). Simplement les solutions hygro-réglables progressent désormais nettement plus vite (+6,1 %) que l'autoréglable (+0,8 %).

## Fractionner la ventilation en tertiaire

La Directive ErP s'est d'abord attaquée aux ventilateurs, à travers le Règlement européen n° 327/2011 du 30 mars 2011 applicable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015, puis le Règlement n° 1253/2014 du 7 juillet 2014 s'est ensuite attaqué aux caissons de ventilation eux-mêmes. Conséquences immédiates sur le marché français : depuis 2016, les caissons double flux doivent être pourvus d'un échangeur de récupération de chaleur ; depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, tous les groupes de ventilation vendus dans l'Union européenne, simple ou double flux, domestiques ou tertiaires, doivent être pourvus d'une motorisation à au moins trois vitesses ou à vitesse variable. Enfin, le taux de récupération de chaleur est poussé à 68 % pour les échangeurs à fluide intermédiaire – du type caloduc, par exemple, y compris ceux qui permettent de raccorder deux machines distantes, chargée l'une de l'extraction, l'autre de l'insufflation – et à 73 % pour tout autre type d'échangeur.

Les exigences simultanées de l'ErP – réduction du bruit et des consommations électriques de tous les caissons de ventilation, augmentation du rendement de récupération de chaleur pour les caissons double flux – ont conduit les fabricants à réduire les pertes de charge des circuits d'air (accroissement de l'efficacité énergétique), augmenter les diamètres des ventilateurs tout en les faisant tourner plus lentement (réduction du bruit), et à augmenter les dimensions des échangeurs de chaleur dans les caissons double flux pour améliorer les rendements. Au bout du compte, les machines conformes à la prochaine échéance de septembre 2018 de la Directive sont plus efficaces, moins bruyantes, mais aussi 10 à 20 % plus volumineuses. Cet accroissement de l'encombrement pose du coup un problème pour le remplacement des caissons existants dans les locaux techniques. Et même lorsque les caissons sont installés sur des toitures-terrasses, les règlements d'urbanismes qui contraignent la hauteur totale des bâtiments peuvent faire obstacle à la pose des nouveaux caissons.

Confrontés à cette difficulté particulièrement aiguë en tertiaire, les industriels ont décidé de fractionner les débits en inventant un nouveau type de caisson double flux. Si par exemple on ne peut plus poser un caisson de 20 000 m<sup>3</sup>/h en raison de son encombrement accru, il demeure possible d'installer 8 caissons de 2 500 m<sup>3</sup>/h, à raison d'un ou deux par étage. Surtout s'ils adoptent un nouveau facteur de forme : les constructeurs proposent depuis trois à quatre ans en Europe des caissons de ventilation double flux extra-plats, souvent équipables d'échangeurs fluide/air ou eau/air pour le chauffage et le rafraîchissement. Grâce à son rachat du groupe danois Exhausto, Aldes propose par exemple des caissons double flux *Exhausto by Aldes*, notamment les caissons



Photo ©2018 - Pascal Poggi - AOC

4



Photo Kampmann

5

4 Voici les nouveaux caissons de ventilation : double flux avec récupération de chaleur, possibilité d'ajout d'une batterie chaude et/ou froide, alimentée en eau ou en détente directe... Et surtout ils ont une forme suffisamment plate pour pouvoir être installés dans un faux-plafond.

5 Voici un ventilateur-convecteur multifonctions Kampmann à suspendre au plafond : chauffage et rafraîchissement 4 tubes, ventilation double flux avec échangeur de récupération de chaleur, prise d'air directe vers l'extérieur pour l'air neuf et l'air extrait. Il existe aussi des modèles à encastrer dans le sol.

plats VEX 320, VEX 330 et VEX 350. D'une hauteur de seulement 440 mm, ils sont destinés à être installés en faux-plafonds. Ils peuvent être complétés par une batterie eau/air (avec des puissances de 1,4, 3,6 ou 5,2 kW pour une température d'eau de 50 °C à l'entrée de la batterie et une chute de température d'eau de 20 K entre l'entrée et la sortie de la batterie) ou électrique (3,9 ou 7,8 kW). Montées dans la veine de soufflage, ces batteries assurent une partie ou la totalité du chauffage, en plus du renouvellement d'air hygiénique. Leurs débits d'air sont modulables de 540 à 1 440 m<sup>3</sup>/h pour les VEX 320 ou VEX 330 et atteignent 2 330 m<sup>3</sup>/h pour le VEX 350.

Ce type de caisson extra-plat intéresse aussi les concepteurs pour le neuf. Dans un immeuble de bureau neuf, un caisson par étage ou par demi-étage permet de fractionner la ventilation, donc de la mettre en service au fur et à mesure de l'occupation du bâtiment, et accroît sa fiabilité (peu probable en effet que tous les caissons tombent en panne en même temps). Surtout, en construction neuve, il est possible de prendre et de rejeter l'air directement en façade, ce qui supprime les conduits verticaux : gain de surface louable, économie des volets anti-incendie entre les étages et de leur entretien réglementaire.

## Climatisation : les constructeurs investissent dans l'eau glacée

En climatisation, si la période 2000-2018 a été dominée par la pression conjointe de l'ErP et du Règlement F-Gaz, la dynamique propre des fabricants a également joué. Le monde de la climatisation est divisé entre la détente directe et l'eau glacée, et il est très difficile de prévoir si l'une ou l'autre de ces deux technologies pourrait prédominer >>>>

et à quelle échéance. À puissance égale, une installation à l'eau glacée utilise moins de fluide frigorigère qu'une installation à détente directe ; en revanche, du point de vue des consommations d'énergie, la détente directe atteint de manière routinière des niveaux d'efficacité énergétique que l'eau glacée n'approche pas. Dans un premier temps, les industriels ont donc tenté de minimiser leurs risques en prenant des positions dans les deux univers. Mitsubishi Electric a acheté plusieurs fabricants italiens spécialistes de l'eau glacée, dont Clima Veneta. Daikin, de son côté a acheté McQuay en 2006 et développé ses propres gammes de groupes à eau glacée, à la fois en froid seul, en pompe à chaleur et réversibles. Le leader mondial de l'eau glacée Carrier a pris le contrôle de Toshiba Climatisation, spécialiste de la détente directe. En Europe, Carrier propose même une offre de solutions à détente directe sous les marques Ciat, Riello et Carrier.

Ensuite, chaque univers a tenté d'améliorer ses solutions pour répondre aux exigences de l'ErP et du Règlement F-Gaz. L'eau glacée a généralisé le pilotage des compresseurs par variation de vitesse, à l'aide soit d'inverter embarqué sur le compresseur, soit de variateur déporté. Dans les nouveaux groupes air/eau Carrier, compresseur et ventilateur sont à vitesse variable. Dès le début des années 2000, Daikin a été le premier à généraliser l'inverter pour le pilotage de ses groupes d'eau glacée, d'abord pour les petites puissances inférieures à 50 kW, ensuite pour toute sa gamme eau glacée. Pour les groupes froid seul, les constructeurs ont par ailleurs généralisé les échangeurs fluide/air à microcanaux : à puissance égale, ce type d'échangeurs réduit de 20 à 40 % la charge de fluide et améliore le rendement d'échange. Ces échangeurs à microcanaux constituent la prochaine frontière technique à atteindre sur les pompes à chaleur : en mode chauffage en effet, les échangeurs gèlent en hiver et leur dégivrage semble très complexe. Néanmoins, plusieurs fabricants dont Clivet, Carrier et Clima Veneta ont quasi promis leur avènement en 2018 ou 2019. Côté fluides, les constructeurs ont introduit en 2016 leurs premiers groupes froid seul ou réversibles utilisant des HFO, dont le HFO1234ze. Début 2018, les modèles réellement disponibles sont encore peu nombreux. Ils sont plus coûteux que les modèles fonctionnant au R134a, notamment en raison du prix élevé des HFO, et, selon les marchés, les clients peuvent être plus sensibles au coût d'investissement immédiat qu'à la perspective d'avoir une installation pérenne pendant plusieurs dizaines d'années.

## La détente directe progresse toujours

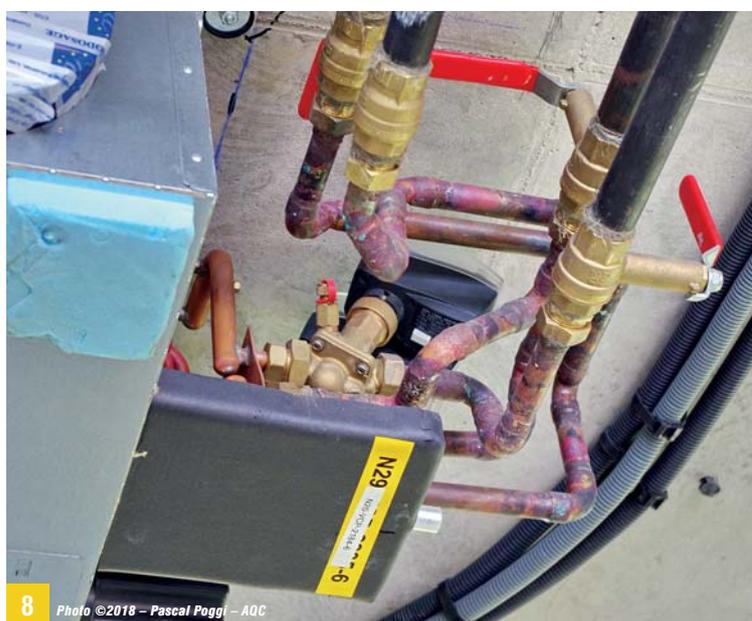
En ce qui concerne la détente directe, on observe trois grands types d'évolutions depuis cinq ans environ. Premièrement, le rendement des systèmes continue de progresser. Daikin a, par exemple, depuis longtemps généralisé la vitesse variable par inverter à la fois pour le pilotage des compresseurs et des ventilateurs de ses systèmes à détente directe. Mais il a aussi introduit la température de fluide variable (VRT pour Variable refrigerant temperature), d'abord pour la 4<sup>e</sup> génération de son DRV (Débit de réfrigérant



6 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC



7 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC



8 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC





Photo ©2018 – Pascal Poggi – AQC 9

**6** Tous les constructeurs se sont organisés pour proposer à la fois de l'eau glacée et de la détente directe.

**7** Johnson Controls, devenu un gros acteur de la climatisation à force d'acquisitions, possède notamment York, l'une des marques phares en eau glacée. Il s'est allié à Hitachi dans une co-entreprise pour fabriquer et distribuer des systèmes à détente directe, du plus petit monosplit au plus grand DRV.

**8** Les ventilo-convecteurs 4 tubes constituent toujours une solution haut de gamme en eau glacée. Ils permettent d'alimenter indépendamment chaque émetteur soit en chauffage, soit en rafraîchissement.

**9** Depuis la parution de la Directive ErP, tous les groupes d'eau glacée et les pompes à chaleur de grande puissance ont adopté l'inverter pour le pilotage de la variation de puissance des compresseurs. Les groupes froid non réversibles ont aussi généralisé les échangeurs à microcanaux, plus efficaces.

**10** Daikin montrait un prototype de DRV (Débit à réfrigérant variable) au R32 sur son stand au salon Mostra Convegno de Milan en mars dernier. Daikin indique que son efficacité énergétique sera améliorée de 20 à 25 % par rapport à la dernière génération au R410A. Il saura produire de l'eau chaude sanitaire à 65 °C, contre 50 à 55 °C pour celui au R410A.

**11** En matière de DRV, le marché français continue de croître. Le segment des mini-DRV, capables d'alimenter jusqu'à une douzaine d'unités intérieures, croît le plus rapidement. Ces matériels ont tendance à remplacer les multisplits dans les moyennes surfaces commerciales en centre-ville.

variable) en 2012, ensuite pour ses monosplits en tertiaire. La température variable de fluide, tout comme la température d'eau variable en sortie d'une chaudière, contribue à l'étendue et à la précision de la variation de puissance des systèmes thermodynamiques, donc à l'amélioration de leur efficacité énergétique. Mitsubishi Electric introduira cette année un système à variation de température de fluide. En 2012 également, Daikin a modifié le dégivrage de ses groupes. En effet, en mode chauffage, par une température extérieure inférieure à 15 °C et pour un air extérieur humide, les échangeurs air-fluide des systèmes thermodynamiques givrent. Classiquement, le groupe reverse alors son fonctionnement pour réchauffer et dégivrer l'échangeur, mais pendant le dégivrage, le groupe n'assure plus le chauffage des locaux. Le déclenchement du cycle de dégivrage est programmé classiquement environ toutes les 60 minutes de fonctionnement du compresseur. Daikin a inventé le chauffage en continu de l'échangeur pour limiter son givrage et continuer à assurer le chauffage des locaux, même en mode dégivrage. Le principe : un matériau à changement de phase stocke de la chaleur et l'utilise pour le dégivrage. D'autres constructeurs ont choisi de fractionner en deux ou trois parties indépendantes l'échangeur air/fluide, ce qui permet un dégivrage séquentiel segment par segment, tandis que les autres demeurent en fonctionnement normal et continuent d'assurer le chauffage des locaux.

## Les solutions hybrides détente directe et eau glacée

Deuxième évolution des groupes à détente directe : l'arrivée de l'eau glacée dans leurs systèmes pour réduire le volume de fluide utilisé. Les fabricants de détente directe s'y prennent de deux manières. Premièrement, ils ont inventé une cascade détente directe/eau glacée. Détente directe entre le groupe externe et des unités intérieures fluide/eau, qui sont des échangeurs entre le fluide et l'eau chaude ou glacée (selon que le groupe fonctionne en mode chauffage ou rafraîchissement). En aval de ces unités, le réseau repart en eau vers des ventilo-convecteurs, des poutres, des plafonds chauffants et rafraîchissants, etc. Depuis une dizaine d'années, tous les fabricants de DRV proposent ces unités intérieures fluide/eau. Ces unités intérieures fluide/eau peuvent, par exemple, permettre un remplacement par étapes d'une installation d'eau glacée existante dans un hôtel. Pour minimiser le temps d'indisponibilité des chambres, plutôt que d'arrêter toute la climatisation pendant des semaines – ce qui conduit à la fermeture de l'hôtel – l'installateur pose le groupe extérieur à détente directe, pose des unités intérieures fluide/eau qui reprennent l'alimentation des ventilo-convecteurs existants étage par étage ou demi-étage par demi-étage, puis procède peu à peu au remplacement des ventilo-convecteurs, sous-ensemble par sous-ensemble.

Mais Mitsubishi Electric a présenté un autre concept en 2015 : le DRV hybride. Il s'agit toujours d'une cascade fluide/eau, mais les unités intérieures sont plus complexes et permettent un fonctionnement simultané du chauffage et du rafraîchissement dans le même bâtiment. Elles assurent aussi la >>>



Photo ©2018 – Pascal Poggi – AQC 10



Photo ©2018 – Pascal Poggi – AQC 11



12 Photo ©2018 – Pascal Poggi – AQC

# LE DÉVELOPPEMENT DU DOUBLE FLUX DÉCENTRALISÉ

**Un nouveau type d'appareil double flux est apparu depuis 2000. Nous l'avons d'abord rencontré en Allemagne et il est arrivé en France vers 2010. Il s'agit du double flux décentralisé, posé pièce par pièce.**

Les caissons sont conçus soit pour être posés directement à travers un mur extérieur soit pour être accrochés au mur extérieur, avec deux conduits traversant le mur pour l'apport d'air neuf et l'extraction d'air. La technologie du double flux décentralisé pièce par pièce était initialement destinée à la ventilation des logements et petits locaux tertiaires existants en cas de rénovation. Puis des fabricants comme l'Allemand Meltem ont imaginé vers 2002 que cette solution était également exploitable en construction neuve. Progressivement, l'ensemble des fabricants a perçu l'intérêt technique et commercial du double flux décentralisé dans toutes



▲ Le double flux décentralisé FreeAir 100 de bluMartin est équipé de 6 sondes de température, de CO<sub>2</sub> et d'hygrométrie. Il est certifié par le Passivhaus Institut avec un taux de récupération de chaleur de 87 %.

sortes de configurations d'installation. Des spécialistes comme bluMartin ont affiné le procédé et obtenu des certifications du Passivhaus Institut (PHI) de Darmstadt. L'appareil FreeAir 100 de bluMartin est équipé de pas moins de 6 sondes de base : CO<sub>2</sub> ambiant, température ambiante, température extérieure, humidité ambiante, humidité extérieure, température de soufflage. Deux autres sondes de détection des COV peuvent être ajoutées, ce qui, associé à ses 8 débits de 20 à 100 m<sup>3</sup>/h, permet un pilotage très fin de la ventilation. L'échangeur à flux croisé est certifié par le PHI avec un taux de récupération de chaleur de 87 %. bluMartin indique que le taux de récupération atteint 94 % avec une humidité relative de 50 %. Brink, Ubbink, Wolf, Aldes, Atlantic et une bonne quinzaine d'autres marques européennes en proposent désormais. ■

récupération et le transfert d'énergie entre les locaux à chauffer et ceux en demande de refroidissement. L'unité extérieure à détente directe alimente en R410A des boîtiers hybrides (fluide/eau) à récupération d'énergie. À leur tour, ces boîtiers alimentent les unités intérieures en eau chaude ou glacée. Le volume de fluide dans l'installation est réduit par rapport à celui d'un DRV classique. Il peut être confiné plus facilement et la maintenance de l'étanchéité des canalisations en fluide est facilitée.

## La question des fluides frigorigènes

La troisième grande évolution – qui concerne aussi l'eau glacée – porte sur les fluides frigorigènes et provient directement des exigences du Règlement F-Gaz. Il établit un calendrier de réduction du GWP (Global warming power ou PRP en français pour Potential de réchauffement planétaire) global des réfrigérants HFC mis sur le marché en Europe. Pour y parvenir, il met en œuvre un mécanisme de quotas de HFC utilisables, décroissant entre le 1<sup>er</sup> janvier 2015 et 2030, exprimé en Tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (t<sub>CO<sub>2</sub>eq</sub>), ainsi que certaines interdictions à des dates précises. La valeur initiale du quota en 2015 – 182,5 Mt<sub>CO<sub>2</sub>eq</sub> – a été répartie entre les 401 producteurs et importateurs de HFC en vrac qui opéraient en Europe à cette date. Le Règlement F-Gaz vise pour l'instant un GWP moyen de 700 pour les fluides mis sur le marché en Europe en 2030, ce chiffre pouvant être abaissé à la faveur d'une révision du Règlement.

Les constructeurs cherchent donc des solutions au remplacement des HFC à fort GWP. Les candidats sont connus. Ce sont d'abord des HFC affichant un faible GWP, comme le R32 (GWP = 675). Cette option est massivement retenue par les industriels de la climatisation asiatique qui représentent l'énorme majorité des fabricants de climatisation à détente directe dans le monde. Du point de vue thermodynamique, Danfoss, fabricant de compresseurs, estime que le R32 affiche par rapport au R410A une capacité de refroidissement supérieure à 7 %, un ratio masse/débit inférieur à 30 %, une température de décharge maximale supérieure à 22 %. Ce qui se traduit, à puissance égale, par un gain de performance de 6 à 7 % pour des applications de climatisation réversible et par une réduction de charge de réfrigérant R32 de 20 à 25 % par rapport au R410A. À puissance égale, les machines au R32 sont 18 % moins volumineuses que celles au R410A. Danfoss estime enfin que les compresseurs conçus pour le R410A peuvent être facilement modifiés pour un fonctionnement optimal avec du R32 sans qu'il soit nécessaire de changer leur technologie. Le R32 constitue pour l'instant le seul candidat connu au remplacement du R410A en détente directe, depuis les monosplits jusqu'aux DRV. L'offre de monosplits et multisplits au R32 grandit d'année en année en Europe, toutes les marques en proposent. Pour le DRV en tertiaire, le R32 présente néanmoins une difficulté : il est classé A2L, soit légèrement inflammable, or la réglementation incendie en France n'autorise pour le moment que des fluides non inflammables classés A1. Uniclimate et de nombreux professionnels

◀ 12 **Panasonic commercialise sa gamme de climatiseurs réversibles air/air au R32 depuis deux ans sur le marché français. Fin mai ou début juin 2018, Panasonic introduira en France sa nouvelle gamme PACi de monosplits R32 de grande puissance, jusqu'à 25 kW. Le groupe extérieur pourra être associé à divers modèles d'unités intérieures : gainable, cassette, plafonnier, etc. C'est une solution pour les ERP de 5<sup>e</sup> catégorie.**

▶ 13 **Toshiba a lancé cette année plusieurs nouvelles gammes au R32, du monosplit au multisplit, destinées à la fois au tertiaire et au logement.**

**“Le R32 constitue pour l'instant le seul candidat connu au remplacement du R410A en détente directe, depuis les monosplits jusqu'aux DRV”**



de la climatisation ont la conviction que cet obstacle pourrait être levé dès 2018, ce qui permettrait l'arrivée de DRV au R32 fin 2018 ou début 2019. Daikin est prêt : il a même présenté un prototype de DRV au R32 en mars 2017 au salon Mostra Convegno (Milan), sans annoncer de date de commercialisation. Daikin a également, dès 2009, démontré la faisabilité technique d'un DRV au CO<sub>2</sub>, mais n'envisage pas sa commercialisation en Europe.

Les réfrigérants naturels constituent d'autres candidats valables pour les systèmes à eau glacée et les Pac monobloc extérieures : le propane R290 (GWP = 6,3), l'ammoniac R717 (0), le CO<sub>2</sub> R744 (1) et l'eau R718 (0), ainsi que les nouveaux HFO (Hydrofluoro-oléfines), dont les GWP sont très faibles : HFO-1234ze (6), HFO-1234yf (4) et HFO-1234zd (4,5). Hors l'eau, tous présentent cependant l'inconvénient d'être inflammables : légèrement pour les HFO et franchement pour le propane. L'ammoniac, pour sa part, est toxique.

## L'irruption du numérique

Dernier grand moteur de l'évolution technique en génie climatique, l'irruption du numérique a commencé en 2011 avec l'apparition du thermostat intelligent et connecté Nest. Début 2014, Google a acheté Nest, alors une petite entreprise de 700 personnes, et payé 3,2 milliards de dollars. Ce qui intéressait avant tout Google, c'était le concept développé par Nest : des objets connectés à Internet, qui se programment tout seuls grâce à leur puissance de traitement embarquée et à leur connexion permanente au Cloud. Ce qui permet de mobiliser facilement des facultés logicielles d'auto-apprentissage du >>>

comportement et des attentes en matière de confort des occupants d'une maison ou d'un appartement. Arrivé en France à l'automne 2014, Nest a bouleversé le monde des thermostats programmables en proposant le thermostat avec boîtier de raccordement à la chaudière à seulement 219 euros TTC. Direct Énergie le proposait même à 149 euros TTC en accompagnement d'un contrat de fourniture de gaz. De plus l'installation est simplissime, puisque le thermostat se charge de l'apprentissage et peut, par observation du logement, apprendre à s'auto-programmer. Si dès le début, les thermostats de Nest et de ses concurrents français comme Netatmo ou Qivivo étaient compatibles avec la totalité des nouveaux générateurs et plus de 80 % du parc de générateurs installés, cette compatibilité était plutôt restreinte : ces thermostats savaient faire du « on/off » et adresser les contacts secs. Du « on/off » à bon escient, comme le précise Netatmo : après apprentissage de l'installation, les algorithmes embarqués pilotent le chauffage de la manière la plus fine possible, ce qui aboutit à des économies d'énergie très sensibles, d'autant plus sensibles d'ailleurs que le générateur est ancien et d'un rendement dépassé par celui des nouveaux générateurs.

### Contourner les fabricants de générateurs

Mais, tant que les fabricants de pompes à chaleur ou de chaudières ne leur donnaient pas accès à leur protocole de pilotage propriétaire, Nest, Netatmo, Qivivo et les nombreux concurrents apparus depuis cinq à six ans ne pouvaient pas utiliser l'inverter des Pac ou la puissance variable des chaudières actuelles. Cette situation a évolué de deux manières. Premièrement, les fabricants de thermostats ont noué des liens plus étroits avec quelques fabricants de chaudières et de pompes à chaleur qui leur ont ouvert leurs protocoles de communication et permettent du coup un pilotage extrêmement fin de leurs générateurs. C'est le cas de Netatmo avec le groupe Vaillant pour les marques Saunier Duval et Vaillant, par exemple. Mais la majorité des constructeurs rechignent clairement à franchir ce pas, préférant développer eux-mêmes des thermostats intelligents connectés. Du coup, seconde évolution, certains industriels comme Netatmo ont conçu une stratégie de contournement en proposant des ensembles comportant un thermostat intelligent connecté et des têtes thermostatiques à commande radio, parfois sans pile grâce à la récolte d'énergie du protocole *enOcean* (1). Le thermostat centralisé pilote chaque tête de robinet de chauffage, donc chaque émetteur séparément. Il est facile d'associer des émetteurs entre eux pour créer des zones, même si les émetteurs de la zone ne sont pas raccordés à la même distribution hydraulique, ou bien de piloter tous les émetteurs ensemble de manière très fine, sans s'occuper du tout du générateur. Ce dernier observe la température de retour d'eau et régule lui-même sa puissance et la température de départ d'eau en fonction de cette information. Il peut donc déployer toutes ses ressources dans la gestion de puissance et température variables, tout en obéissant aux ordres de programmation du

**“L'arrivée des thermostats connectés a enfoncé une digue : l'idée, sinon la nécessité, de connecter toutes sortes d'objets du bâtiment s'est rapidement imposée”**

(1) *La récolte d'énergie est le processus par lequel de l'énergie est tirée de sources externes et convertie en électricité pour servir au fonctionnement autonome de petits appareils. Lire l'article «Automatisation : quelles solutions dans les bâtiments existants ?» en page 38 de ce numéro.*

thermostat, mais sans que celui-ci adresse directement le bus de communication du générateur. L'arrivée des thermostats connectés a enfoncé une digue : l'idée, sinon la nécessité, de connecter toutes sortes d'objets du bâtiment s'est rapidement imposée. Nest a lancé le programme « Works With Nest » pour tenter de créer un écosystème pour le développement des logements connectés. En plus du groupe Vaillant, Netatmo collabore avec Legrand, Velux et bientôt d'autres industriels. Du coup, Somfy et Delta Dore sortent de leur splendide isolement et s'ouvrent aux collaborations avec d'autres fabricants en utilisant des protocoles de communication ouverts. Somfy a convaincu Hitachi Ciat, Dimplex, Atlantic et De Dietrich d'ouvrir pour sa box et application domotique *Tahoma* un accès à leurs protocoles propriétaires. *Tahoma* pilote aussi les régulateurs de Honeywell, Sauter ou Danfoss.

### Cloud to Cloud

Les industriels du chauffage multiplient les chaudières et Pac connectées. Elles sont toutes accompagnées d'une ou deux applications. L'une est destinée à l'utilisateur, elle lui permet un pilotage à distance et l'informe de dysfonctionnements éventuels. La seconde s'adresse à l'entreprise chargée de la maintenance et, dans les cas les plus sophistiqués, l'avertit d'un risque de panne – grâce à une analyse constante des conditions et des durées de fonctionnement du générateur – de manière à organiser une maintenance préventive. Nous n'en sommes qu'au tout début du développement des services associés à la connectivité. Il n'est pas du tout impossible qu'apparaisse à brève échéance une offre de « chauffage comme un service » : l'utilisateur n'achètera plus son générateur de chauffage et de production d'ECS, mais acquittera un abonnement mensuel et une partie variable en fonction de ses consommations de chauffage et d'ECS, tout cela étant lié ou pas à son contrat de fourniture de gaz et d'électricité.

Mais la prochaine frontière technique pour le génie climatique, c'est la commande vocale, en logement comme en tertiaire. C'est déjà possible grâce à des concepteurs d'univers connectés collaboratifs. Le thermostat Nest est compatible naturellement avec *Google Home*, *Google Home Mini Galet* et *Google Home Mini Charbon*, ces haut-parleurs-microphones de Google déjà commercialisés en France. Netatmo parie sur l'univers d'Apple et a rendu son thermostat compatible avec *Siri*, la commande vocale disponible sur tous les *iPhone*, en attendant l'arrivée en France d'*Apple HomePod*. Viessmann a rendu ses chaudières compatibles avec *Alexa* (d'Amazon, qui devrait arriver en France cette année) et *Google Home* grâce à des applications *Cloud to Cloud*. L'utilisateur donne un ordre vocal à *Alexa*, qui l'envoie dans le cloud Amazon, lequel se met en relation avec le Cloud Viessmann qui traduit l'ordre et le redescend vers la passerelle de communication Viessmann chez le client ; à son tour cette passerelle envoie les bonnes commandes aux différents équipements Viessmann du logement. D'autres fabricants devraient suivre rapidement cette voie de coopération *Cloud to Cloud* pour apporter de nouveaux services, tant elle est facile à mettre en œuvre. ■

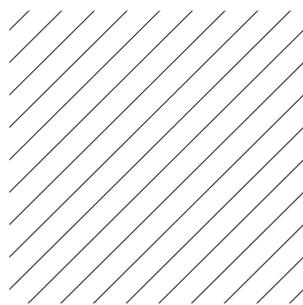




Photo ©2018 – Pascal Poggi – AQC

▲ Les pompes à chaleur sur boucle d'eau prennent diverses formes – en allège, en plafonnier, etc. – et puissances – 1 à 50 kW environ. France Énergie (groupe Muller) est le principal fabricant en France.

## LES ATOUTS DES POMPES À CHALEUR SUR BOUCLE D'EAU

Il n'existe que trois technologies possibles si l'on veut rendre indépendants les différents locaux d'un bâtiment tertiaire d'un point de vue chauffage et climatisation :

- le ventilo-convecteur 4 tubes associé à un groupe d'eau glacée et à une chaudière ou bien à une pompe à chaleur fonctionnant toujours en mode chauffage ;
- le DRV (Débit de réfrigérant variable à détente directe) 3 tubes (2 chez Mitsubishi Electric) ;
- ou bien la pompe à chaleur sur boucle d'eau.

Il s'agit d'une pompe à chaleur monobloc eau/air, à condensation par eau. Dans un bâtiment, ces pompes à chaleur sont raccordées à une boucle d'eau dont la température est maintenue entre 12 et 18 °C en été et entre 40 et 48 °C en hiver. En mi-saison, la température de la

boucle est maintenue par les Pac elles-mêmes : celles qui fonctionnent en mode chauffage prélèvent de la chaleur dans la boucle, tandis que celles qui fonctionnent en rafraîchissement versent dans la boucle la chaleur qu'elles prélèvent dans les locaux. C'est de la récupération de chaleur à l'échelle du bâtiment. Il existe d'ailleurs des tentatives pour pousser ce mécanisme à l'échelle d'un quartier : les bâtiments en demande de rafraîchissement – des bureaux, par exemple – alimentent ceux qui ont besoin de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire – plutôt des logements. Dans un bâtiment, en hiver et en été lorsque toutes les pompes à chaleurs sont susceptibles de fonctionner dans le même mode chauffage ou rafraîchissement, le maintien en

température de la boucle peut être réalisé par toutes sortes de générateurs ou récupérateurs : chaudière, pompe à chaleur, réseau de chauffage urbain, solaire thermique, récupération de chaleur fatale sur l'air extrait, sur les eaux grises en hôtellerie, etc., pour son réchauffement ; groupe froid, réseau de froid urbain, aérorefrigérants secs (dry-coolers) ou adiabatiques, tours de refroidissement pour son rafraîchissement. Les pompes à chaleur sur boucle d'eau contiennent peu de fluide frigorigène. Elles fonctionnent en toute indépendance les unes par rapport aux autres : un bureau est chauffé, un autre rafraîchi. Le fonctionnement de l'installation globale est fiabilisé : une pompe à chaleur en panne ne compromet pas le chauffage ou le rafraîchissement des autres locaux du bâtiment. ■