



Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC

La méthode de calcul RT 2012 ne valorise plus vraiment le solaire thermique. Cet effet de calcul, joint à l'absence d'exigence d'utilisation des énergies renouvelables en collectif et en tertiaire dans la RT 2012, a conduit à la quasi-disparition du solaire thermique en construction neuve.

GÉNIE CLIMATIQUE

# L'ÉVOLUTION DES SOLUTIONS DEPUIS 2000

## 1<sup>er</sup> volet :

## Chauffage et eau chaude sanitaire

TEXTE : PASCAL POGGI  
PHOTOS : ATLANTIC,  
BURDERUS/BOSCH  
THERMOTECHNOLOGIE,  
CORDIVARI, DAIKIN,  
FRÖLING, PASCAL  
POGGI/AQC, TEC CONTROL,  
VAILLANT, VIESSMANN

L'Europe, la fiscalité, le prix du fioul ont modelé les évolutions techniques des produits et solutions de génie climatique depuis 18 ans, le plus souvent dans le bon sens, mais pas toujours de manière rationnelle.



1 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC

Quatre grandes influences fondamentales ont organisé, ou désorganisé selon le point de vue que l'on adopte, l'évolution technique des solutions de génie climatique – chauffage, ventilation, conditionnement d'air et production d'eau chaude sanitaire – en France depuis 18 ans : les Directives et Règlements européens, le numérique, l'évolution du prix des énergies et enfin les aides publiques et notamment les crédits d'impôts. De ces quatre influences, la première est certainement la plus importante. L'Europe a produit des Directives, dont la Directive sur la performance énergétique des bâtiments, la Directive ErP (Energy related products, dite aussi éco-Conception) et la Directive étiquetage énergétique, ainsi que des Règlements européens, notamment le fameux Règlement F-Gaz dont nous vous parlons régulièrement et tous les Règlements d'application des Directives ErP et étiquetage énergétique. L'influence de ces textes s'exerce dans un seul sens, sans aucune déviation depuis plus de 20 ans : réduire la consommation d'énergie en augmentant l'efficacité énergétique des bâtiments et des appareils qui utilisent de l'énergie, développer l'usage des énergies renouvelables, protéger l'environnement en utilisant moins de substances nocives comme les gaz CFC, HFC et HCFC.

### Transposition de la Directive sur la performance énergétique des bâtiments

Toutes les Directives européennes ne fonctionnent pas de la même manière et leurs effets sont plus ou moins contraignants. La Directive ErP, comme nous l'avons déjà exposé, n'a pas besoin de transposition. Pour chaque type d'appareil concerné, un Règlement européen d'application immédiate organise sa mise en œuvre et du coup cette Directive est appliquée de la même manière à travers tous

1 La solution chaudière gaz à condensation – murale individuelle en maison ou collective au sol en immeuble – plus panneaux solaire thermique était valorisée par la méthode de calcul RT 2005. Elle est devenue un quasi-standard des opérations labellisées effinerie BBC 2005.

les États membres de l'Union européenne. La Directive sur la performance énergétique des bâtiments 2002/91/CE (ou Depeb), en revanche, a tracé des objectifs généraux – réduire les consommations d'énergie moyennes annuelles des bâtiments de 20 % en 2020 par rapport à 1990 et atteindre au moins 12 % d'énergies renouvelables dans les bâtiments d'ici 2010 – et a laissé à chaque État membre le soin de la transposer en réglementation concrète. Votée en 2002, appliquée en 2006, modifiée en 2010 (Directive 2010/31/UE) et à nouveau en cours de négociation pour atteindre 30 % de réduction de consommation d'énergie d'ici 2030, la Depeb a débouché en France sur la RT 2005, puis sur la RT 2012 en construction neuve, sur la RTex par élément et sur la RTex globale pour les bâtiments existants. À chaque fois, la France a développé une méthode de calcul spécifique, sauf dans le cas de la RTex par élément. Chacune de ces méthodes de calcul a abouti à la promotion de solutions techniques précises, au détriment d'autres. Chaque transition vers une nouvelle méthode de calcul a condamné les solutions développées pour la précédente, tout en promouvant de nouvelles. Pour les logements existants, les aides financières diverses sous forme de crédit d'impôt, de prêts bonifiés, de CEE (Certificats d'économie d'énergie) ont amplifié ces tendances.

### Méthodes de calcul, aides financières et fiscalité

Par exemple, la méthode de calcul de la RT 2005 et du défunt label BBC a assuré la fortune du couplage chaudière à condensation gaz et solaire thermique, en maison individuelle neuve mais surtout en logements collectifs neufs. Au point que ce couple était devenu la solution standard en collectif neuf. Les industriels avaient affiné des packages associant condensation et solaire thermique. Les entreprises de chauffage avaient ré-appris à poser du solaire thermique en collectif et développé des préfabri-cations pour faciliter la mise en place sur chantier. Au point qu'EdEn – l'association pour l'équilibre des énergies – s'en était émue et avait vivement condamné la domination du gaz et la portion congrue de l'électricité en construction neuve entre 2007 et 2012...

L'avènement de la RT 2012 et de sa toute nouvelle méthode de calcul a complètement rebattu les cartes. L'association chaudière gaz à condensation et solaire thermique ne ressortait plus comme la solution la plus performante, ni en termes d'efficacité énergétique ni en rapport coût d'installation/efficacité réglementaire. Elle a de fait disparu des prescriptions des bureaux d'études en quelques semaines au début de l'année 2013, remplacée par le chauffe-eau thermodynamique en maison individuelle neuve. En collectif neuf, le solaire thermique a disparu. On assiste d'ailleurs à un recul en termes de solutions techniques, puisqu'il n'existe plus d'obligation d'utiliser des ENR en collectif neuf dans la RT 2012.

Deux méthodes de calcul différentes ont donc créé de toutes pièces deux marchés très porteurs pour des technologies spécifiques en construction neuve. La transition d'une méthode à l'autre a >>>>

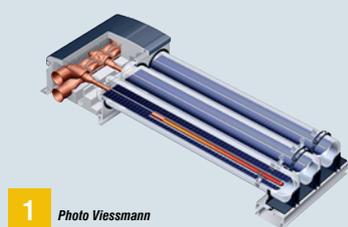
# PEU D'ÉVOLUTIONS TECHNIQUES EN SOLAIRE THERMIQUE

**Depuis 20 ans, peu d'innovations techniques sont venues modifier les offres de solutions en solaire thermique.**

Contrairement au solaire photovoltaïque, le prix des matériels n'a pas baissé non plus. L'évolution la plus significative est le revêtement *Thermprotect* de Viessmann, une protection passive contre la surchauffe, principal fléau d'une installation solaire thermique qui dégrade le fluide du circuit solaire, provoque des colmatages et des baisses de rendement. À partir de 75 °C sur les capteurs plan, la structure cristalline de *Thermprotect* se modifie. Il en résulte une augmentation de son émissivité et la puissance du capteur diminue. Ce qui réduit la température maximale dans le capteur, évite la vaporisation du fluide et sa dégradation. Lorsque la température du capteur baisse, la structure cristalline du revêtement retrouve ses propriétés initiales : en dessous de 75 °C de température, plus de 95 % de la chaleur est absorbée par le capteur. Viessmann estime que le nombre de cycles de transformation du revêtement cristallin est illimité. Purement physique, l'effet *Thermprotect* ne requiert aucune intervention ou entretien. Viessmann a équipé ses capteurs plan *Vitosol 100-FM* et *200-FM*, ses capteurs tubulaires sous vide *Vitosol 200-TM* et *300-TM* du revêtement, soit la totalité de son offre de capteurs solaires thermiques, à l'exception du capteur tubulaire *Vitosol 200-T SPL* destiné aux installations

industrielles. L'autre technologie disponible pour empêcher la surchauffe des installations solaires thermiques est le drainback ou auto-vidange. Elle existait avant les années 2000, mais depuis que Daikin a acheté Rotex et promeut ses technologies dont le drainback, elle réapparaît plus vigoureusement dans les prescriptions des bureaux d'études. Le drainback consiste à vidanger automatiquement le circuit primaire solaire lorsque la température approche le seuil de vaporisation du fluide, puis à le recharger lorsque la température dans les capteurs baisse. L'installation est de fait nettement plus complexe que dans le cas d'un circuit sous pression classique, protégé par un revêtement *Thermprotect*. Autre avancée en solaire thermique, le Cesi (Chauffe-eau solaire individuel) « optimisé » a été développé par les fabricants lors de l'entrée en vigueur de la RT 2012 dans un effort de simplification et de réduction des coûts des systèmes solaires thermiques. Il s'agit d'une chaudière gaz à condensation à production d'ECS instantanée ou à micro-accumulation, associée à un seul capteur solaire thermique de 2 à 2,5 m<sup>2</sup> et à un ballon de stockage solaire de 100 à 200 litres. Il s'agit d'un Cesi avec appoint gaz. Le circuit de production d'ECS de la chaudière est en effet monté en série avec le ballon d'accumulation solaire. Le circuit de production d'ECS de la chaudière est donc alimenté en eau préchauffée par le primaire solaire.

La chaudière apporte un complément de chaleur, lorsque c'est nécessaire, pour atteindre la température de consigne de puisage de l'ECS. Il faut une électronique sophistiquée pour piloter cet apport de chaleur. Le Cesi optimisé répond juste à l'exigence posée par la RT 2012 en maison individuelle : couvrir 5 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.an par des EnR. Pas davantage. Il ne tente pas du tout de maximiser l'emploi du solaire thermique durant l'année. C'est un produit technico-réglementaire, efficacement concurrencé par le chauffe-eau thermodynamique et par la pose d'une surface réduite de panneaux photovoltaïques qui permettent aussi d'atteindre 5 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.an d'EnR en maison individuelle. Après *ThermProtect*, le drainback et le Cesi optimisé, une autre initiative technique est apparue en Allemagne vers 2008 mais n'a jamais atteint de succès commercial. Il s'agissait de concevoir, pour la production de grandes quantités d'ECS solaire, des installations entièrement en eau potable, sans circuit primaire et sans fluide caloporteur : l'eau potable circulait dans les capteurs, s'accumulait dans le stockage et alimentait directement le circuit de puisage d'ECS. Cela ne résolvait pour autant pas le problème de la surchauffe, sauf à maintenir une circulation continue, en alimentant constamment le circuit en eau froide, tout en vidangeant le stockage en cas d'absence de puisage. ■



1 Photo Viessmann



2 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC



3 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC

1 Dans les capteurs tubulaires sous vide *Vitosol 200-TM* et *300-TM*, le revêtement *Thermprotect* agit à partir de 120 °C. Dans un capteur sous vide, un fluide contenu dans le tube en cuivre de chaque tube sous vide est vaporisé et se condense en partie haute dans l'échangeur entre le tube et le circuit solaire. C'est un échange de chaleur sec à travers un échangeur de chaleur, sans contact entre les fluides. Avec *Thermprotect*, le fluide contenu dans le tube cuivre ne peut plus condenser à partir de 120 °C : l'échange de chaleur stoppe et protège le système contre une élévation de température trop forte.

2 La solution drainback (auto-vidangeable) de Daikin-Rotex a été installée pour la production d'ECS dans un hôtel de la station thermale d'Avène (34), inauguré en 2015 et certifié NF HQE® et Breeam « Very Good ». Dans le cas d'un système auto-vidangeable, les panneaux solaires thermiques sont posés avec une pente de 1 % entre l'entrée et la sortie du circuit primaire solaire, de manière à permettre la vidange.

3 En chaufferie, une série de ballons recueillent le fluide vidangé. Ils font partie intégrante du circuit primaire solaire et sont mis à l'air (pas en pression et pas hermétiques), de manière à permettre le retour gravitaire du fluide durant la vidange automatique. Pour éviter l'introduction d'air dans le primaire solaire, le retour et le départ du primaire sont pris au fond de ces cuves et demeurent immergés en permanence. Les cuves contiennent par ailleurs un échangeur secondaire immergé qui alimente en chaleur les ballons de stockage solaire.



rayé la première technique au profit de la seconde, sans grande logique du point de vue énergétique. Au même moment, le chauffe-eau thermodynamique (selon les Règlements européens n° 812/2013 [étiquetage énergétique] et n° 814/2013 [écoConception]) a bénéficié d'étiquettes énergétiques A ou A+. En 2015, le chauffe-eau thermodynamique, nettement plus facile à poser que du solaire thermique, a également bénéficié d'un crédit d'impôt de 30 % (pour un Cop supérieur à 2,4). Sa mise en œuvre entraine dans l'éco-prêt à taux zéro, bénéficiait d'une TVA à 5 % et ouvrait droit à des CEE s'il était posé par un professionnel qualifié RGE... N'en jetez plus ! Le marché des chauffe-eau thermodynamiques est passé de 35 000 en 2013 à 88 891 en 2017, la France étant le premier marché d'Europe. Dans le même temps, le marché des Cesi (Chauffe-eau solaire individuel) est passé de 19 150 en 2013 à 5 400 en 2017...

### Chauffage : condensation gaz et pompes à chaleur

Dans le domaine du chauffage, deux évolutions ressortent depuis 10 ans : les chaudières à condensation sont devenues dominantes, les pompes à chaleur se sont fortement développées. En 2017, selon Uniclimate, le marché français des chaudières gaz et fioul a atteint 631 000 unités, dont 143 000 chaudières gaz et fioul classiques (22,7 %) et 488 000 chaudières gaz et fioul à condensation (77,3 %). En septembre prochain, la Directive ErP exigera un saut de performance en termes de rendement et d'émission

**2** Les solutions hybrides associant pompe à chaleur et chaudière gaz ou fioul à condensation peinent à trouver un marché. Si elles étaient complémentaires par le passé dans leurs limites techniques, désormais les pompes à chaleur conservent leur puissance par des températures de -15 °C, voire -25 °C pour les meilleures, et les chaudières individuelles proposent des modulations de puissance de 10 à 100 %, voire de 3 à 100 % de leur puissance nominale. Il n'existe plus de logique technique pour associer deux générateurs – Pac et chaudière – dans un ensemble hybride.

de NOx qui assoira encore davantage la domination des chaudières à condensation (voir notre article en page 35 de ce numéro).

La Directive ErP a également changé la manière dont on apprécie la performance de tous les générateurs, dont celle des chaudières, mettant l'accent sur la performance saisonnière, envisagée sur l'année selon des profils de fonctionnement types, aussi bien en termes d'efficacité énergétique que d'émission de NOx. Nous sommes passés d'un rendement instantané en énergie finale à un rendement saisonnier calculé en énergie primaire et exprimé en pourcentage. Ce qui, d'une part, fournit au consommateur final et au professionnel une évaluation plus réaliste de la performance des générateurs, et, d'autre part, permet de comparer facilement la performance de deux générateurs techniquement différents. Comparer le rendement instantané sur PCS (Pouvoir calorifique supérieur) d'une chaudière et le Cop d'une pompe à chaleur est très difficile. Comparer le rendement annuel en % d'une chaudière et d'une pompe à chaleur, calculé à partir de profils de chauffage et de puisage d'eau chaude sanitaire identiques, est d'une facilité déconcertante. Cet accent mis sur la performance annuelle a poussé les constructeurs à améliorer les rendements des générateurs à charge partielle. Pour les pompes à chaleur, cela s'est traduit par la généralisation du pilotage par inverter : variation de fréquence du courant alimentant le moteur du compresseur pour obtenir une variation de la vitesse de rotation du compresseur, donc une variation de la puissance



## “Les deux exigences – rendement et plafond de NOx – ont poussé les constructeurs à généraliser les brûleurs à prémélange air/gaz”

restituée par la Pac. Il y a encore cinq ans, des constructeurs allemands de pompe à chaleur résistaient à l'inverter et préféraient développer des machines embarquant deux ou trois compresseurs de différentes tailles (permettant une variation de puissance par paliers), même pour les faibles puissances destinées au marché domestique. Ces architectures ont complètement disparu : l'inverter, finalement moins coûteux et plus performant, triomphe depuis les machines domestiques jusqu'aux plus grosses Pac tertiaires. Sur les Pac de plus grandes puissances, la variation de puissance est parfois obtenue par un variateur de fréquence extérieur au compresseur, fourni par Danfoss, ABB, Schneider Electric, Toshiba, etc., plutôt que par un inverter embarqué directement sur le compresseur. Cependant l'inverter embarqué progresse, même pour des compresseurs à vis de grande puissance. Bitzer propose par exemple les compresseurs à vis de la gamme CSVH, optimisés pour les nouveaux fluides HFO R1234ze et R1234yf, avec inverter embarqué jusqu'à des puissances de 650 kW environ.

### Efficacité conservée quelle que soit la puissance

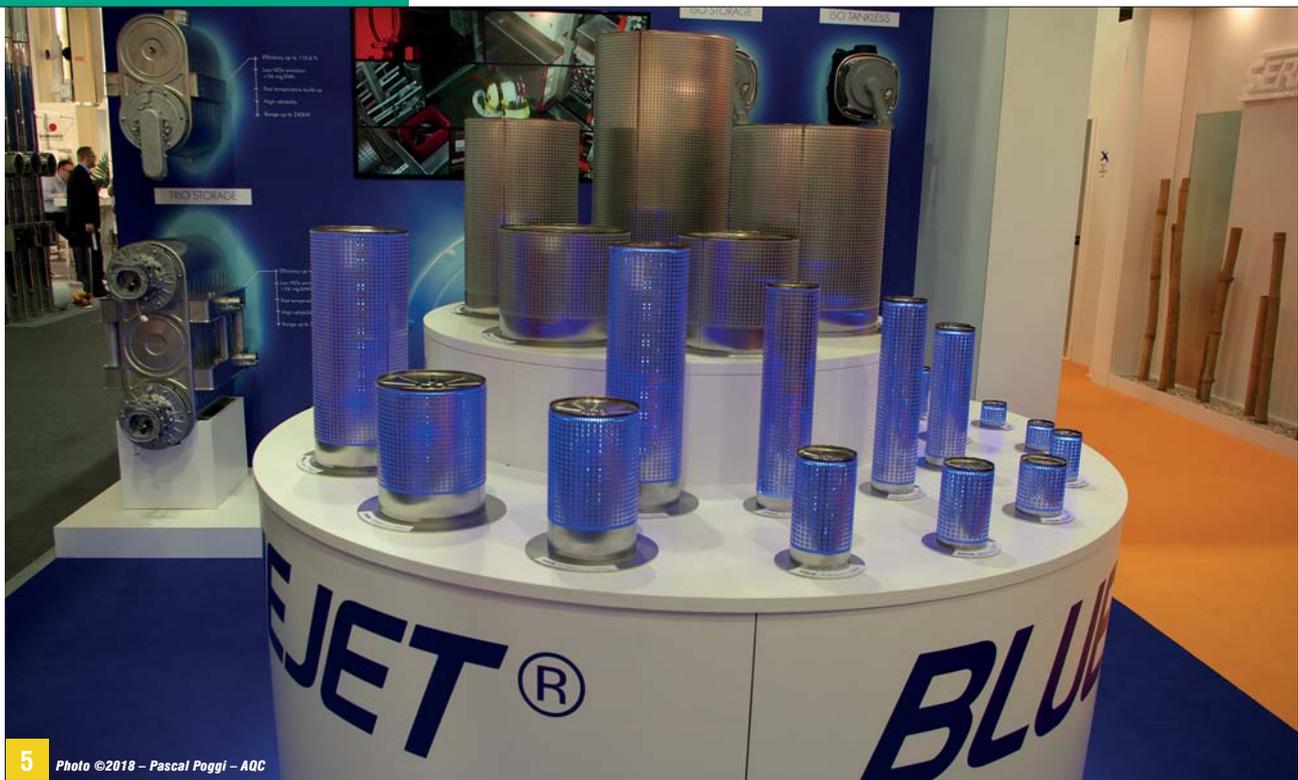
Pour les chaudières, l'exigence de performance saisonnière a généralisé les brûleurs à puissance variable. Remarquons au passage que le fonctionnement des générateurs à charge partielle, qu'il s'agisse de chaudières ou de pompe à chaleur, aboutit le plus souvent à un meilleur rendement : on applique une puissance réduite à un échangeur

**3** La conception des chaudières gaz à condensation permet désormais de s'approcher de très près du rendement théorique maximal de combustion du gaz de 111 % sur PCI. De plus, les technologies associant brûleur, ventilateur pour l'air comburant et vanne gaz permettent de varier la puissance des chaudières sans perdre de rendement, quel que soit le taux de charge.

**4** Les chaudières à condensation équipées de brûleurs gaz à pré-mélange offrent un meilleur rendement à charge partielle. Transposé dans une cascade de chaudières, ce principe signifie que la régulation de la cascade pilote les générateurs de manière à maximiser leur durée de fonctionnement à charge partielle.

de chaleur qui, par définition, demeure constant et a été dimensionné pour la puissance nominale. Ainsi, le rendement instantané d'une Pac à 30 % de sa puissance nominale est meilleur qu'à 100 %. En ce qui concerne les chaudières, en plus du rendement, la Directive ErP ajoute un plafond d'émissions de NOx assorti d'un calendrier programmé de réduction. En septembre prochain, il sera de 56 mg/kWh PCS.

Les deux exigences – rendement et plafond de NOx – ont poussé les constructeurs à généraliser les brûleurs à prémélange air/gaz. L'air comburant et le gaz sont mélangés dans une chambre de prémélange, le plus souvent avec l'aide d'un ventilateur pour pouvoir piloter précisément la quantité d'air comburant. Le ventilateur et la vanne d'injection de gaz sont pilotés simultanément pour conserver les proportions du mélange, quel que soit son volume. La variation du volume total air + gaz injecté dans la chambre de combustion permet de varier la puissance du brûleur. Le prémélange est ensuite réparti sur la surface où se développe la (ou les) flamme(s). Le prémélange est destiné à réduire l'excès d'air comburant, donc à réduire la production de NOx, tout en conservant assez d'air comburant pour éviter toute production de CO. Les brûleurs à prémélange sont donc souvent régulés par une sonde d'oxygène (O<sub>2</sub>) dans les fumées (la présence d'oxygène indique un excès d'air). Outre l'excès d'air, la température de flamme influe directement sur la production de NOx : elle augmente entre une température de flamme de 1200 et de >>>



5

Photo ©2018 – Pascal Poggi – AQC

# LE FIOUL CONTRE LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

**Jusqu'à 2009, le prix du fioul influait directement sur l'évolution technique et les ventes de solutions à base d'EnR, notamment le bois et le solaire thermique.**

Lorsque le prix du fioul augmentait et que cette augmentation était perçue comme durable par les fabricants et par le client final, en cas de besoin de remplacement d'une chaudière fioul vieillissante ou bien pour réduire la facture énergétique du logement, le choix se portait plutôt sur les chaudières bois ou sur le solaire thermique. Lorsque le fioul était peu

coûteux, le marché des générateurs à bois et du solaire thermique s'effondrait, le remplacement des chaudières fioul existantes se portant vers de nouveaux générateurs fioul plus économes et moins polluants. Et du coup, les industriels n'investissaient plus dans l'amélioration de leurs chaudières bois ni de leurs solutions solaires thermiques. Le prix du fioul TTC a augmenté de manière continue en France entre avril 2003 et juillet 2008. Le marché des Cesi (Chauffe-eau solaire individuel) a suivi, passant de

5 000 pièces en 2003 à 42 000 en 2008. Mais depuis 2009, les ventes de Cesi baissent régulièrement pour atteindre seulement 5 400 pièces en 2017, malgré une remontée du fioul domestique entre 2009 et 2013. Les aides publiques dans l'existant et la méthode de calcul RT 2012 dans le neuf ont en effet rompu le lien inverse qui existait entre le prix du fioul et le développement du solaire. Les solutions alternatives plus simples à mettre en œuvre comme le chauffe-eau thermodynamique et le photovoltaïque, soutenues financièrement et du point de vue réglementaire par les politiques publiques, continuent leur développement, même lorsque le fioul augmente. ■

Photo Vaillant



◀ **À travers l'Europe, les constructeurs conservent des offres solaires thermiques importantes, même si les ventes ne suivent plus. L'avènement du Bepos devrait relancer l'intérêt pour le solaire thermique, dont le rendement est facilement cinq fois plus important que celui du solaire photovoltaïque.**

2 000 °C environ, avant de redescendre rapidement au-delà de 2 000 °C. L'un des enjeux de la conception des brûleurs consiste donc à réduire la température de flamme, soit par recirculation d'une partie des produits de combustion, soit en augmentant la surface de la flamme jusqu'à des brûleurs radiant où la combustion se déroule avec des flammes extrêmement courtes. Viessmann avec son brûleur *Matrix* et Sermeta avec son brûleur cylindrique *Bluejet* comptent parmi les spécialistes de cet exercice.

Avec l'ensemble de ces nouveaux dispositifs, les chaudières gaz proposées aujourd'hui sont capables de manière courante de moduler leur puissance de 10 à 100, tout en conservant leur rendement sur toute la plage de fonctionnement. Le record actuel est très probablement détenu par les chaudières murales gaz à condensation hyper-modulantes *MC5* de Vergne Innovation. Elles affichent une modulation continue de 1 à 34 kW, soit de 3 % à 100 %, en conservant leur rendement de 109 % sur PCI tout au long de la plage de modulation, avec des émissions de NOx  $\leq 15$  mg/kWh PCS. Elles embarquent le corps de chauffe en acier inoxydable de Sermeta et son brûleur *Bluejet*, complétés par une vanne à modulation étendue développée par Vergne Innovation pour le pilotage du prémélange air-gaz.

En fonctionnant à puissance réduite, une chaudière diminue aussi fortement ses pertes thermiques. Le rendement théorique maximal de la condensation gaz est de 111 % sur PCI. Lorsque des générateurs très modulants parviennent à 109 % avec des émissions de NOx très faibles, la marge de progression devient étroite. Pour améliorer le rendement, il faut sans doute associer du solaire thermique aux chaudières gaz à condensation ou bien passer à des technologies comme celle de BoostHeat qui revendique 200 % de rendement sur PCI avec son compresseur thermique. Il reste encore de la marge, en revanche, dans l'amélioration de la régulation des chaudières et de leur production d'ECS.

### Les chaudières condensent en mode de production ECS

La production d'ECS a certainement été le parent pauvre de l'évolution technique depuis 20 ans. Aucune solution nouvelle n'est apparue. L'ECS solaire thermique est en pleine déconfiture commerciale. Tout au plus peut-on relever quelques développements techniques épars. Le premier, qui n'a l'air de rien, est tout de même significatif : les chaudières à condensation condensent désormais aussi en mode production d'ECS. La condensation, rappelons-le, consiste à récupérer la chaleur latente des produits de combustion des chaudières gaz ou fioul, en condensant la vapeur d'eau qu'ils contiennent. Jusque vers 2005, les chaudières instantanées ou à micro-accumulation avaient, en mode production

5 Pour obtenir une extrême variation de puissance des chaudières gaz, il faut qu'à très basse puissance la flamme gaz ne décolle pas du brûleur. Sermeta a développé le brûleur cylindrique *Bluejet* pour lequel les flammes se développent deux à deux et face à face : la pression que chaque flamme exerce sur la flamme opposée évite leur décollement, même à très faible puissance.

d'ECS, des fumées trop chaudes pour que leur humidité puisse être condensée. Depuis, deux méthodes sont utilisées pour que les chaudières condensent en mode ECS. La première consiste à préchauffer l'eau froide en passant par un premier échangeur sur les fumées, ce qui réduit la température des produits de combustion et augmente le rendement. Le second est une nouvelle architecture de corps de chauffe en acier inoxydable développée par l'équipementier français Sermeta. Son corps de chauffe *Iso Tankless* pour chauffe-bains instantanés à condensation est disponible en 4 puissances de 21 (13,3 l/mn), 32, 45 et 63 kW (39 l/mn), atteignant un rendement instantané jusqu'à 110,6 %. Complété par la porte froide et le brûleur *Bluejet* développés par Sermeta, ce corps de chauffe offre une hygiène de combustion exceptionnelle, une variation de puissance étendue, une variation de température de puisage imperceptible, quel que soit le débit. Le corps de chauffe *Iso storage* (18 kW) est conçu pour les chauffe-bains à accumulation jusqu'à 560 l/h. Il atteint un rendement instantané de 110,6 %. Les trois séries de corps de chauffe *Mono Storage* (simple corps de chauffe et 6 modèles de 27 kW-1 000 l/h à 72 kW-2 650 l/h), *Duo Storage* (double corps de chauffe et 7 modèles de 72 à 250 kW, soit 9 000 l/h) et *Trio Storage* (triple corps de chauffe et 5 modèles de 200 à 500 kW, soit 18 000 l/h) ont été développées par Sermeta pour les chauffe-eau à accumulation de grande puissance, affichant un rendement de 109 % sur PCS et des émissions de NOx  $< 56$  mg/kWh PCS. Tous ces corps de chauffe sont apparus depuis 2000.

### Le développement des solutions d'ECS thermodynamiques

L'autre grand phénomène en ce qui concerne la production d'ECS est le développement au début des années 2000 de solutions de production d'ECS thermodynamiques : les chauffe-eau thermodynamiques, les pompes à chaleur double service (chauffage + ECS), les Pac haute température dédiées à la production d'ECS utilisant le CO<sub>2</sub> comme fluide frigorigène et, plus récemment, des offres thermodynamiques de grosse puissance pour la production d'ECS en tertiaire ou en logement collectif. Il faut rappeler que la Directive ErP a rendu impossible depuis septembre 2017 la commercialisation de ballons électriques de plus de 300 litres. La Directive ErP 2009/125/CE et son Règlement n° 814/2013 sur les performances des appareils de production d'eau chaude définissent, en effet, 8 profils de puisage d'ECS, notés de 3XS à 4XL, liés à des débits de puisage croissants. Depuis le 26 septembre 2017, quelle que soit la technologie employée, le rendement de production minimum pour le profil de puisage 3XL est passé à 32 % et à 64 % pour le profil 4XL. Pour des volumes importants et à >>>

**“La production d'ECS a certainement été le parent pauvre de l'évolution technique depuis 20 ans. Aucune solution nouvelle n'est apparue. L'ECS solaire thermique est en pleine déconfiture commerciale”**



6 Photo Cordivari



7 Photo ©2018 - Pascal Poggi - AUC

## “Selon le Règlement n° 812/2013, un chauffe-eau thermodynamique atteint une étiquette énergétique A ou A+, et passe à A++ ou A+++ s’il est intelligent”

partir du profil de puisage 3XL, il faut donc désormais, en l'absence de gaz, soit associer les ballons à une source solaire thermique, soit passer à des solutions thermodynamiques. Selon le Règlement n° 812/2013, un chauffe-eau thermodynamique atteint une étiquette énergétique A ou A+, et passe à A++ ou A+++ s'il est intelligent. Selon la définition du Règlement, une « commande intelligente » est un dispositif qui adapte automatiquement le processus de chauffage de l'eau aux conditions d'utilisation individuelles en vue de réduire la consommation d'énergie.

Tous les chauffe-eau thermodynamiques utilisent pour l'instant du R410A ou même encore du R134a. Aucun n'est disponible avec du R32, même si les fabricants en promettent pour 2019. Mais ils poursuivent, dans le même temps, le développement de chauffe-eaux thermodynamiques monoblocs ou split au CO<sub>2</sub>, fluide frigorigène normalisé sous la désignation R-744. Le CO<sub>2</sub> possède au moins six avantages : c'est un fluide naturel, à l'ODP nul (Ozone depletion potential, c'est-à-dire la contribution à la destruction de la couche d'ozone), doté d'un GWP très faible de 1 (Global warming power, la contribution à l'effet de serre), il est ininflammable, non corrosif (sauf en présence d'eau) et non toxique. Un circuit thermodynamique au CO<sub>2</sub> atteint des températures élevées, de l'ordre de 65 à 80 °C, mais à des pressions très importantes comprises entre 100 et 140 bars, ce qui rend la conception des machines relativement délicate et plutôt coûteuse.

**6** En raison de sa facilité d'installation, de sa valorisation en tant qu'énergie renouvelable dans la méthode de calcul RT 2012 en maison individuelle, des divers soutiens financiers (crédit d'impôt, CEE) qui l'ont accompagné, le chauffe-bain thermodynamique a pris une place très importante sur le marché français.

**7** La pompe à chaleur air/eau est devenue un standard du marché français. La plupart fonctionnent encore au R410A. Les industriels japonais, chinois et coréens ont entamé le virage vers des Pac au R32. Les fabricants européens qui tentent aussi des Pac monobloc extérieures utilisant le propane, un fluide dont les performances thermodynamiques sont meilleures que celles du R32 et le GWP est nettement plus faible, mais qui est classé A3 (hautement inflammable).

Par rapport à un ballon électrique classique, le temps de retour sur investissement d'un chauffe-eau thermodynamique au CO<sub>2</sub> atteint 5 à 7 ans en tertiaire, 10 ans pour des installations domestiques. Ce qui a d'ailleurs poussé Aldes à retirer de son catalogue 2018, son produit *T.FlowActiv*, un chauffe-eau thermodynamique utilisant le CO<sub>2</sub> comme fluide frigorigène.

### L'apparition du CO<sub>2</sub> pour la production d'eau chaude

Pourtant, plusieurs systèmes de production d'ECS au R-744 sont apparus depuis 2000 et les offres techniques continuent de s'étoffer. La pompe à chaleur air/eau *Q-ton*, fabriquée par Mitsubishi Heavy Industries et commercialisée en France par Yack, utilise le CO<sub>2</sub> et a même obtenu en mai 2016 un Titre V pour la saisir dans le moteur de calcul RT 2012 en temps qu'appareil produisant de l'ECS. *Q-ton* est composé d'unités extérieures air/eau monobloc de 30 kW de puissance unitaire : il est possible d'en associer jusqu'à 16 en parallèle pour atteindre une puissance restituée de 480 kW, produisant 1 120 m<sup>3</sup> d'ECS par jour, à une température comprise entre 60 et 90 °C. L'intérêt de ces machines réside notamment dans le fait qu'elles sont encore capables de produire de l'ECS à 90 °C par une température extérieure de - 25 °C et qu'elles maintiennent leur puissance jusqu'à une température extérieure de - 7 °C. Leur Cop est de 3,1 selon leur Titre V. Atlantic a présenté une solution similaire au dernier salon Interclima, toujours avec une Pac CO<sub>2</sub> Mitsubishi. Depuis le début des années 2000, le japonais Sanden commercialise en Europe des solutions thermodynamiques au CO<sub>2</sub> pour la production d'ECS et depuis 2014 fabrique plusieurs modèles en Bretagne. Équipées de compresseurs CO<sub>2</sub> pilotés par inverter, elles fonctionnent sans perte de puissance



Photo ©2018 - Pascal Poggi - AQC 8



Photo Tec Control 9

jusqu'à une température extérieure de - 15 °C. La distribution en France est assurée par le breton Tec Control Save Energy. Il propose notamment la Pac Sanden AquaEco2, une pac air/eau gainable conçue pour une installation intérieure. Elle fournit 3,5 kW de puissance en mode «Eco», 4,8 kW en mode «Confort» et produit de l'eau jusqu'à 65 °C sans appoint par résistance électrique, avec un Cop de 3,42. La version AquaEco2 Smart est associée à un ballon de 150 l et affiche une classe énergétique A ; la version AquaEco2 Max est associée à un ou plusieurs ballons de stockage de 200, 300, 380, 450, 750 ou 1 500 l, avec ou sans résistance électrique d'appoint. Tec Control a même développé une solution mixte chauffage + ECS à l'aide de la Pac AquaEco2. La Pac alimente directement un ballon de stockage d'ECS dans lequel est puisée l'eau chaude pour le logement. Ce ballon contient aussi un échangeur de chaleur qui alimente un réseau de radiateurs et/ou de plancher chauffant. Dans ce schéma, c'est l'eau chaude sanitaire qui produit le chauffage. Ce qui est parfaitement logique pour des logements très performants où les besoins d'ECS demeurent importants, tandis que les besoins de chauffage deviennent très faibles. Tec Control commercialise également la gamme de pompes à chaleur CO<sub>2</sub> Air-Heat, des Pac air/eau disponibles en 4 puissances : 15,8, 25,5, 48,6 et 100 kW. Par une température extérieure de - 10 °C, avec de l'eau froide à 10 °C et de l'eau chaude produite à 65 °C, leur Cop varie de 3,03 à 3,14. Par + 7 °C à l'extérieur, avec de l'eau à 10 °C et une production d'ECS à 55 °C, le Cop varie de 4,6 à 4,42 selon les modèles.

Tous ces appareils thermodynamiques fonctionnant au CO<sub>2</sub> constituent une excellente solution de remplacement d'une production d'eau chaude électrique en hôtellerie et dans tout le tertiaire d'hébergement (foyers, maisons de retraite, etc.). La >>>



Photo Tec Control 10

8 L'avenir du CO<sub>2</sub> pour la production d'ECS paraît assuré. Atlantic s'est associé à Mitsubishi Heavy pour développer une solution destinée au tertiaire ou au logement collectif.

9 Tec Control commercialise la solution de Pac CO<sub>2</sub> Sanden Aquaeco2, capable de produire de l'ECS à haute température sans l'appoint d'une résistance électrique.

10 La Pac CO<sub>2</sub> Sanden Aquaeco2 Combi sait produire simultanément beaucoup d'ECS et un peu de chauffage dans les logements très performants, grâce à un échangeur noyé dans le ballon d'ECS qui prélève la puissance nécessaire au chauffage.

consommation d'énergie est au moins divisée par trois. Les volumes stockés peuvent être divisés par deux, puisque ces appareils peuvent avantageusement fonctionner non seulement en heures creuses, mais aussi en heures pleines étant donné leur puissance électrique réduite.

### L'ECS thermodynamique en collectif en tertiaire

Tec Control a découvert un nouveau marché pour ses solutions de production d'ECS collectives au CO<sub>2</sub> : celui des immeubles collectifs très performants. Les concepteurs de ces bâtiments, en l'absence de réseau gaz, s'orientent vers de l'eau chaude collective thermodynamique et du chauffage électrique par effet Joule. C'est une solution particulièrement efficace du point de vue énergétique pour les bâtiments bien isolés, notamment s'ils comportent des petits logements dont les besoins de chauffage sont très faibles. C'est également une excellente solution en termes de coût d'exploitation et de maintenance, puisque les radiateurs électriques ne requièrent aucun entretien spécifique. Pour les maîtres d'ouvrage qui renâclent face à l'investissement encore élevé d'une solution CO<sub>2</sub>, plusieurs industriels ont développé depuis cinq à sept ans des solutions thermodynamiques pour la production d'ECS en collectif, utilisant le R134a ou le R410A comme fluides frigorigènes. Ils ont même pris le soin, pour certaines d'entre elles, d'obtenir un Titre V pour les saisir dans le moteur de calcul RT 2012. Ce qui montre bien que le collectif neuf est le principal marché visé par ces solutions.

Basé à La Ciotat, Eurevia, par exemple, a obtenu un Titre V pour son système *aCQUAREVIA*, développé avec EDF. C'est une Pac 3 tubes multifonction, comme en fabriquent les industriels italiens depuis le début des années 2000. Elle est conçue pour équiper les bâtiments nécessitant une production d'eau chaude sanitaire collective comme les Ehpad, hôtels, logements collectifs, résidences étudiantes et seniors. Elle dispose de deux départs hydrauliques, le premier dédié à la production d'eau chaude sanitaire et le second, réversible, capable de produire de l'eau chaude pour le chauffage ou de l'eau glacée pour le rafraîchissement. C'est une Pac air/eau, mais en mode production d'eau glacée, la chaleur extraite du bâtiment est récupérée par un échangeur eau/eau pour la production d'ECS. Si les besoins froid et ECS sont équilibrés, *aCQUAREVIA* devient alors une Pac eau/eau, sans appel à son échangeur sur l'air. *aCQUAREVIA* est disponible dans des



11 Photo Atlantic

11 **Hydrapac** d'Atlantic est un système de production d'ECS thermodynamique collectif adapté aux bâtiments de logements.



puissances de 49 à 370 kW. Eurevia a aussi développé *aCQUATHERMIE* (57 à 532 kW), une machine similaire mais à condensation par eau et non titulaire d'un Titre V.

De son côté, Atlantic a développé deux solutions thermodynamiques collectives au R410A à partir de modules Fujitsu : une Pac air/eau *Hydramax* avec appoint par chaudière gaz pour la production d'ECS et de chauffage, et une Pac air/eau *Hydrapac* avec appoint par résistance électrique pour la production d'ECS. Ces systèmes disposent d'un Titre V. Dans les deux cas, ce sont des unités thermodynamiques extérieures à inverser au R410A – 4 modèles différents de 11 à 16 kW, que l'on peut associer en parallèle pour atteindre 48 kW – couplées à un ou plusieurs ballons de stockage intérieur à travers une station hydraulique composée d'un ballon avec échangeur noyé, d'une régulation, des circulateurs primaires et secondaires nécessaires...

Panasonic, de son côté, vient d'annoncer une solution de production d'ECS thermodynamique pour le tertiaire. Baptisée *Polar Energi*, cette gamme se compose d'unités extérieures à condensation par air Panasonic *PACi* de 7,1 à 25 kW et de DRV (Débit de réfrigérant variable) *ECOi* jusqu'à 225 kW, tous utilisant le R410A. L'unité intérieure, alimentée directement en fluide, est un ballon contenant lui-même une ou deux cuves noyées. La version avec une seule cuve noyée est consacrée à la production d'ECS, avec des capacités disponibles de 70 à 1000 l, des Cop jusqu'à 5,82 et capable de fonctionner pour des températures d'air extérieur de - 25 à + 35 °C, en produisant de l'ECS jusqu'à 70 °C. La version avec deux cuves noyées produit simultanément ECS et chauffage. ■

**“Pour les maîtres d'ouvrage qui renâclent face à l'investissement encore élevé d'une solution CO<sub>2</sub>, plusieurs industriels ont développé depuis cinq à sept ans des solutions thermodynamiques pour la production d'ECS en collectif, utilisant le R134a ou le R410A comme fluides frigorigènes”**

Photo ©2018 - Pascal Poggi - AOC

Les plaquettes forestières ou bois déchiqueté permettent un fonctionnement automatique de chaudières biomasse de grande puissance. C'est le combustible favori des nouvelles chaufferies urbaines au bois.



## LA PERCÉE DES GRANULÉS DE BOIS

Le bois, c'est entendu, est une énergie renouvelable s'il est issu d'une gestion durable des forêts et offre à ce titre maints avantages. Mais sa combustion, c'est un euphémisme, n'est pas sans inconvénients. La combustion du bois génère des particules fines, aussi appelées PM10, affichant un diamètre inférieur à 10 microns. La capture de la majeure partie de ces particules avant leur expulsion dans l'atmosphère est néanmoins parfaitement possible. En installation individuelle, l'épurateur de fumée *Top Clean* de Poujoulat récupère jusqu'à 92 % des poussières. C'est un filtre électrostatique qui se pose en sortie de toiture sur des conduits maçonnés non tubés de section carrée ou rectangulaire, sur des conduits métalliques, sur des conduits tubés ou chemisés. Un générateur de courant continu, automatiquement mis en marche par détection d'une élévation de température dans le conduit, ionise les particules contenues dans les fumées, ce qui les plaque contre les parois intérieures du conduit, d'où elles sont évacuées par ramonage. Dans le cas des chaufferies industrielles, la partie filtration – composée de plusieurs filtres de technologies différentes montés en série – permet d'atteindre les valeurs conformes aux réglementations. Depuis 2000, deux phénomènes ont marqué l'évolution de

la combustion bois. Tout d'abord, depuis 2013, la possibilité d'utiliser un taux de TVA de 5,5 % sur la vente d'énergie par un réseau de chaleur urbain lorsqu'elle est produite au moins à 50 % par des sources renouvelables a entraîné la transformation de dizaines de chaufferies urbaines en chaufferies bois. Ensuite, l'emploi des granulés de bois s'est fortement développé. Une chaudière individuelle à granulés de bois est un générateur automatique : il se charge lui-même, se régule aussi simplement qu'une chaudière gaz ou fioul et offre une excellente qualité de produits de combustion, grâce au pilotage fin de l'air comburant en fonction du volume de combustible. En 2017, selon Uniclimate, il ne s'est néanmoins vendu en France que 10 700 chaudières biomasse, dont la moitié à chargement automatique. Ces chaudières à chargement automatique sont des chaudières à granulés en ce



Photo Fröling

qui concerne les générateurs individuels, des chaudières à granulés ou à plaquettes de bois déchiqueté pour les générateurs de forte puissance. Les granulés ne sont en effet plus limités aux chaudières individuelles. Des chaufferies urbaines, des chaufferies d'immeuble et des chaufferies d'usine y font appel aussi, notamment en raison de la facilité de chargement et des possibilités importantes de modulation de puissance. Les générateurs à biomasse seront soumis à la Directive ErP à partir de 2020 pour les chaudières à combustibles solides  $\leq 500$  kW (Règlement n° 2015/1189 du 28 avril 2015 pour l'ErP, Règlement n° 2015/1187 du 27 avril 2015 pour l'étiquetage énergétique). Le tour des « dispositifs de chauffage décentralisés » dont la puissance thermique est  $\leq 50$  kW, dont les poêles à bois, n'intervient qu'à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022 (Règlement n° 2015/1185 du 24 avril 2015 pour l'ErP, Règlement n° 2015/1186 du 24 avril 2015 pour l'étiquetage énergétique). ■

◀ Le granulé de bois est un combustible manufacturé, dont les caractéristiques (dimensions, teneur en eau) sont garanties par les fabricants. La production de granulés relativement importante pèse sur leurs prix de marché et conduit des exploitants de chaufferies industrielles ou urbaines à s'intéresser à ce combustible.