



Prof. Jean-Marie Hauglustaine – Chargé de cours honoraire ULiège – [jmhauglustaine@uliege.be](mailto:jmhauglustaine@uliege.be)

# Remplacer la chaudière d'un logement existant : une étape qui peut s'inscrire dans la transition énergétique

Conscient.e du changement climatique, chacun.e souhaite, aujourd'hui, réduire ses émissions de CO<sub>2</sub> et sa consommation d'énergie primaire, mais aussi s'inscrire dans la transition énergétique vers l'utilisation des énergies renouvelables. Le remplacement de la chaudière de chauffage central constitue une opportunité à saisir pour faire un pas dans la bonne direction. Il s'impose lorsque la chaudière est arrivée en fin de vie. Il se recommande lorsque l'on a fortement isolé l'enveloppe d'un bâtiment dans le chemin d'une rénovation énergétique, afin de mieux correspondre aux déperditions considérablement réduites du bâtiment désormais bien isolé. Dans tous les cas, le remplacement d'une chaudière de chauffage central est l'instant d'une réflexion pour faire le point et saisir l'occasion de préparer le système de chauffage à l'utilisation d'énergies au maximum renouvelables.

## POINT DE DÉPART : LES BESOINS NETS DE CHAUFFAGE (BNE)

Tout d'abord, parle-t-on d'un bâtiment fort peu isolé, dont la consommation annuelle d'énergie de chauffage dépasse largement les 3000 litres de mazout (ou 3000 m<sup>3</sup> de gaz, ou 6500 kg de pellets)? Ou parle-t-on d'un nouveau bâtiment ou d'un bâtiment existant dont l'enveloppe a déjà fait l'objet d'une rénovation énergétique approfondie? Avant de se pencher sur le choix d'un système, avec ou sans recours aux énergies renouvelables, il est important de déterminer les besoins du bâtiment. Les besoins nets en énergie représentent l'énergie que le système de chauffage doit fournir à l'ambiance pour maintenir une température intérieure définie (température de consigne) afin de compenser les déperditions thermiques. Les besoins nets en énergie pour le chauffage sont fonction (voir Fig. 1) des pertes par transmission de l'enveloppe du bâtiment ( $Q_T$ ), des pertes liées à la ventilation hygiénique ( $Q_{V,dedic}$ ) et à l'inétanchéité à l'air ( $Q_{V,inf,exf}$ ), des apports internes ( $Q_i$ ) et des apports solaires ( $Q_s$ ), et de l'inertie du bâtiment. Ils sont indépendants des caractéristiques des installations techniques de chauffage. Ces besoins sont évalués, donc connus à l'occasion de la réalisation d'un audit logement ou d'un certificat PEB.

Quel que soit le mode de production choisi, le système de chauffage doit avoir un rendement élevé (en régime nominal\* mais

aussi à charge partielle\*\*) et être correctement dimensionné. En effet, un surdimensionnement des équipements diminue en général le rendement moyen annuel et présente un impact non négligeable sur la consommation finale du bâtiment.

## Chaudières au gaz naturel

Le rendement des modes de production de chaleur au départ d'énergie fossile s'est nettement amélioré ces dernières années, notamment avec la quasi-généralisation des chaudières à basse température et à condensation qui se détachent du lot. Pour rappel, la technologie de la condensation des fumées permet de récupérer une grande partie de la chaleur qui s'échappe habituellement par la cheminée (voir Figure 2). On obtient alors un rendement théorique supérieur à 100 % sur le PCI (pouvoir calorifique inférieur).

Il faut également noter qu'en utilisation finale, la combustion du gaz émet moins de CO<sub>2</sub> que la combustion du mazout, mais plus que la biomasse. Comme indiqué précédemment, depuis le 26 septembre 2015, les règlements découlant de la Directive européenne Ecodesign imposent, lorsqu'on utilise le gaz comme combustible, de recourir presque exclusivement à l'installation de chaudières à condensation, à l'exception de quelques chaudières basse température performantes. En pratique, pour



Fig. 1 Besoins nets de chauffage [ESUD-18]

\* Rendement nominal : Le rendement nominal d'une chaudière est son rendement instantané lorsque le brûleur fonctionne. C'est le rapport entre la puissance contenue dans le combustible et la puissance thermique transmise à l'eau de chauffage. Il s'agit d'un rendement instantané qui peut varier en fonction des conditions d'exploitation de la chaudière (température de l'eau, puissance du brûleur par rapport à la puissance de la chaudière). Les fabricants de chaudières doivent pouvoir fournir sa valeur à charge nominale et dans des conditions de combustion idéales (rendement nominal) dans leur documentation technique.

\*\* Rendement à charge partielle : le rendement à charge partielle est une des mesures de rendement effectuée selon la DIN 4702-8 (procédure d'essai normalisée) qui permettent d'évaluer le rendement global annuel d'une chaudière [DIN -90]. Le facteur de charge est le temps de fonctionnement du brûleur, divisé par la durée de la saison de chauffe. Un facteur de charge de 100 % signifie que la chaudière a fonctionné sans interruption pendant la saison de chauffe. La charge moyenne des chaudières sur une année est souvent inférieure à 30 %. Le rendement à charge partielle de 30 % donne une image plus réaliste du rendement global annuel auquel il faut s'attendre que le rendement de production obtenu en laboratoire.

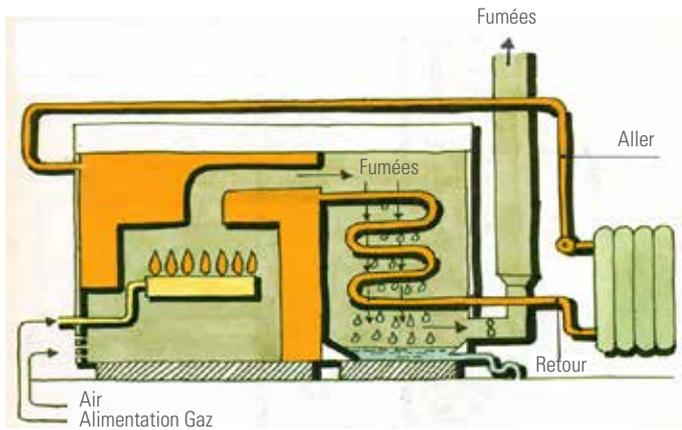


Fig. 2 Schéma de fonctionnement d'une chaudière gaz à condensation [HAUG-19]

qu'une chaudière à condensation présente le haut rendement attendu, il faut que la température de l'eau de retour soit la plus faible possible ; il est donc fortement recommandé de travailler avec des systèmes d'émission à basse température (chauffage par le sol, radiateurs dimensionnés en conséquence...).

### Avantages et inconvénients des chaudières au gaz

Les chaudières gaz ont pour avantages :

- de faibles coûts d'installation ;
- d'être généralement très performantes ;
- de permettre une grande facilité de gestion ;
- lors de sa combustion, le gaz émet moins de gaz à effet de serre que le mazout ;
- de ne pas nécessiter de stockage de combustible.

Par contre, les chaudières gaz :

- nécessitent la disponibilité du gaz naturel, au moyen d'un réseau qui n'est pas accessible partout ;
- utilisent un combustible fossile non renouvelable. Toutefois, si le réseau de gaz naturel distribue du méthane qui est produit au départ de biomasse, de déchets ou d'autres sources renouvelables, on pourra considérer que le vecteur énergétique «gaz naturel» est devenu un vecteur «méthane» d'énergie renouvelable.

### Chaudières au gaz propane

Se chauffer au propane est une bonne alternative au gaz naturel lorsque le bâtiment n'est pas situé près d'un réseau de distribution de gaz. Dans ce cas, l'installation à l'extérieur d'une citerne propane aérienne ou enterrée est requise, ce qui implique d'emblée le choix d'un fournisseur. Les chaudières alimentées au gaz propane ont les mêmes propriétés que celles alimentées au gaz naturel (voir point précédent).

### Avantages et inconvénients des chaudières au gaz propane

Les chaudières au gaz propane :

- sont généralement très performantes ;
  - lors de sa combustion, le propane émet moins de gaz à effet de serre que le mazout.
- Toutefois, les chaudières au gaz propane présentent pour inconvénients :
- la nécessité d'installer une citerne à l'extérieur (aérienne ou enterrée) ;
  - l'utilisation d'un combustible non renouvelable ;
  - le prix du propane est plus élevé que celui du gaz naturel et son pouvoir calorifique est un peu plus faible ;
  - lors de sa combustion, le propane émet plus de gaz à effet de serre que le gaz naturel.

### Chaudières au mazout

La combustion du mazout produit plus d'émissions de gaz à effet de serre que la combustion du gaz ou du propane. Néanmoins, les chaudières mazout sont également une alternative aux chaudières gaz lorsque le raccordement au gaz naturel n'est pas possible et lorsque le recours à un système alternatif n'est pas envisageable. Des chaudières mazout performantes à basse température ou à condensation sont également disponibles sur le marché ; cependant leur rendement est un peu moins bon que celui des chaudières gaz à condensation :

- les périodes pendant lesquelles la condensation est effective sont plus réduites (la température de condensation des fumées issues de la combustion du mazout est plus basse que dans le cas du gaz) ;
- la teneur en vapeur d'eau des fumées issues du mazout est plus faible que pour le gaz ; la quantité de chaleur récupérable est donc plus faible ;
- le mazout contient encore un peu de soufre et génère des condensats plus acides, corrosifs pour la cheminée et l'échangeur (la plupart des fabricants de chaudières ont étudié l'acier inoxydable de l'échangeur pour résister aux condensats acides). Attention toutefois aux condensats : ils ne peuvent être rejetés à l'égoût qu'après neutralisation du soufre et de cette acidité.

Comme indiqué précédemment, depuis le 26 septembre 2015, les règlements découlant de la Directive européenne Ecodesign imposent quasi exclusivement, lorsqu'on recourt au mazout comme combustible, l'installation de chaudières à condensation, à l'exception de quelques chaudières basse température performantes. Comme déjà dit pour le gaz, pour qu'une chaudière à condensation présente le haut rendement attendu, il faut que la température de l'eau de retour soit la plus faible possible ; il est donc fortement recommandé de travailler avec des systèmes d'émission à basse température (chauffage par le sol, radiateurs dimensionnés en conséquence...).

### Avantages et inconvénients des chaudières au mazout

Comme avantages, les chaudières mazout permettent :

- un approvisionnement envisageable partout (ou presque) ;
- une facilité de gestion du système.

Par contre, les chaudières mazout présentent des inconvénients :

- la nécessité de procéder à l'installation d'une citerne à l'intérieur du bâtiment en suivant des prescriptions strictes ou à l'extérieur en suivant des exigences visant à protéger l'environnement ;
- l'utilisation d'un combustible fossile non renouvelable ;
- lors de sa combustion, le mazout émet plus de gaz à effet de serre que le gaz naturel et le propane ;
- lors de la combustion, le mazout émet des particules fines, nuisibles à la qualité de l'air extérieur ;
- un rendement de combustion généralement moins bon que les chaudières gaz ou propane.

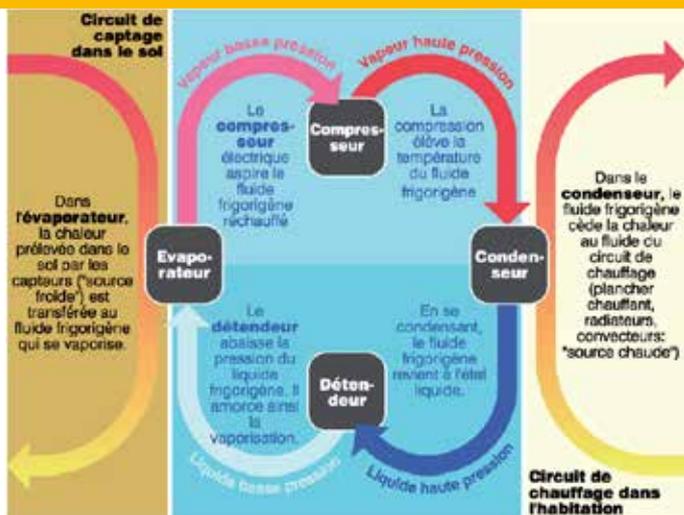


Fig. 3 Principe de fonctionnement d'une PAC [IBGE-07]

### Pompes à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) est une machine thermodynamique qui puise la chaleur dans un milieu naturel appelé «source froide» (eau, air, sol) dont la température est inférieure à celle du bâtiment à chauffer («source chaude»). Elle transfère ensuite cette énergie au fluide de chauffage (en général l'eau chaude mais l'air peut aussi servir de fluide caloporteur) afin d'assurer le chauffage des locaux et aussi, éventuellement, la préparation d'eau chaude sanitaire (voir Fig. 3). Pour fonctionner, la pompe à chaleur a besoin de l'apport d'une énergie (en pratique de l'électricité).

La performance de la PAC dépend, entre autres, de la source froide dans laquelle elle puise sa chaleur : soit l'air (cf. PAC aérothermique), soit le sol (cf. PAC géothermique), soit l'eau (cf. PAC hydrothermique).

Le cycle peut être inversé dans le cas d'une pompe à chaleur réversible qui permet, outre le chauffage en hiver, de rafraîchir les pièces en été. Cependant, ce système est moins performant qu'une machine frigorifique parce que cette dernière est optimisée pour refroidir ! De plus, l'usage d'un système de refroidissement actif peut et doit être évité au maximum dans les bâtiments résidentiels grâce à une limitation de la surchauffe (cf. gestion des apports solaires, surventilation...). Lorsqu'elles sont performantes et bien dimensionnées, les PAC permettent de générer de meilleures économies d'énergie et de moindres coûts d'exploitation par rapport à un système de chauffage classique. Toutefois, si l'on considère le facteur de conversion en énergie primaire de l'électricité (qui est de 2,5 dans le contexte de la PEB), une PAC ne génère des gains d'énergie primaire par rapport à des systèmes de chauffage classiques qu'au-delà d'un certain seuil de performance (COPtest\* supérieur ou égal à 3). Ce qui signifie qu'elle doit fournir plus de trois unités d'énergie sous forme de chaleur, pour une unité d'énergie électrique qu'elle a consommée.

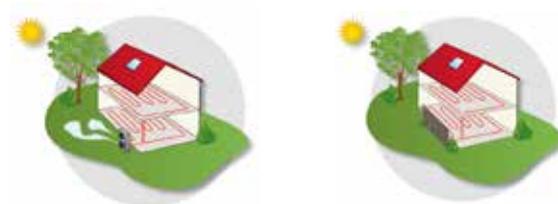
\* Le COPtest d'une pompe à chaleur est déterminé par le fabricant selon la norme NBN EN 14511 dans les conditions standardisées d'essai décrites dans l'Annexe A1-PER de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2], il reflète le rapport entre la chaleur fournie par la PAC et celle qu'elle consomme. Pour tenir compte des conditions réelles dans lesquelles la pompe à chaleur travaille, le COPtest est multiplié par des facteurs de correction de manière à obtenir un COP moyen annuel, appelé le facteur de performance saisonnier (FPS).

Attention, une pompe à chaleur mal dimensionnée se traduit par une baisse importante du COP (coefficient of performance). L'installation de ce type de chauffage doit être pensée et programmée dès la conception de l'habitation ou lors d'une rénovation importante. Par ailleurs, comme toutes les technologies utilisant des énergies renouvelables, la pompe à chaleur est caractérisée par des performances essentiellement variables au cours du temps. En effet, le milieu gratuit, que ce soit le sol du jardin (sauf en grande profondeur, à savoir au-delà de 50 m) ou l'air extérieur, voit sa température varier au cours d'une saison de chauffe. Cette température conditionne la température d'évaporation et donc, à la fois, le flux de chaleur fourni à l'habitation et la puissance électrique consommée. Une installation utilisant, par exemple, l'air extérieur comme source froide, pourra ainsi voir son COP diminuer fortement par grand froid, ce qui ne permet plus d'assurer le confort thermique de l'habitation en toute circonstance. Si la pompe à chaleur ne fournit pas, à elle seule, la puissance nécessaire pour couvrir la demande thermique, notamment durant les hivers froids, une chaudière au mazout, au gaz... peut fournir l'appoint ou prendre entièrement le relais. On parle alors d'un système hybride qui sera abordé plus loin.

Une autre solution est de réaliser une installation avec un appoint électrique. Elle nécessite un faible investissement mais contribue à une surconsommation électrique, ce qui rend cette solution moins rationnelle. Les appoints électriques permettent de préserver le confort lors des dégivrages ou des périodes de gel, ou encore lorsque la PAC éprouve des difficultés. On parle alors d'un système mono-énergétique (l'électricité).

### Pompe à chaleur aérothermique

La pompe à chaleur **air/air** récupère l'énergie contenue dans l'air extérieur et la transfère à un réseau de distribution aéraulique desservant les différentes pièces du logement (air chaud pulsé, diffusé par le biais de cassettes, grilles, split...). Les pompes à chaleur air/air sont souvent réversibles. L'évaporateur extérieur devient condenseur et le condenseur intérieur devient évaporateur, avec la fonction de déshumidification de l'air qui apporte le confort d'été.



4a Capteur dynamique

4b Capteur statique

Fig. 4 PAC aérothermique [EF4-10]

La pompe à chaleur **air/eau** récupère également l'énergie contenue dans l'air extérieur, mais elle la transfère à un réseau d'eau chaude par l'intermédiaire d'un échangeur sur le circuit frigorifique. La chaleur est restituée par le biais d'un plancher chauffant ou plafond chauffant, voire mur chauffant, ou de radiateurs basse température (chauffage central à basse température)...

### Pompe à chaleur géothermique

La pompe à chaleur **géothermique** récupère la chaleur du sol via des capteurs enterrés. On distingue 2 types d'échangeur géothermique: horizontal et vertical. Le **captage horizontal** est réalisé à l'aide de tubes enterrés à une profondeur d'environ 80 cm. La zone de captage est équivalente à 1,5 à 2 fois la surface chauffée, ce qui nécessite des travaux de terrassement importants. Généralement, de l'eau additionnée de glycol (fluide antigel) circule dans ces capteurs; on parle alors de PAC eau glycolée/eau; la chaleur captée est ensuite transférée au circuit d'eau de chauffage. Dans certains cas, le fluide frigorigène des capteurs horizontaux passe directement dans le circuit de chauffage par le sol; on parle alors de PAC à **détente directe** (cf. PAC sol/sol). La chaleur est transférée à la dalle du bâtiment à chauffer par un échangeur noyé dans celle-ci, constitué de boucles de tuyauteries contenant le fluide frigorigène. Ce type de PAC assure uniquement la fonction de chauffage. Dans ce système, aucune substitution d'énergie n'est possible ultérieurement, étant donné que le fluide frigorigène (et non de l'eau) circule dans le plancher.

Le **captage vertical** est quant à lui réalisé via des sondes verticales descendant jusqu'à 50 m de profondeur environ dans lesquelles circule de l'eau glycolée; la chaleur captée est ensuite transférée au circuit d'eau de chauffage. Quel que soit le type de captage choisi (horizontal/vertical), le dimensionnement des capteurs doit tenir compte de la surface à chauffer et du type de sol ainsi que leurs mises en œuvre pour assurer de bonnes performances.



5a Capteur horizontal

5b Capteur vertical

Fig. 5 PAC géothermique [EF4-10]

### Pompe à chaleur hydrothermique

La pompe à chaleur **eau/eau** prélève la chaleur au moyen d'un circuit d'eau en contact avec une nappe phréatique, un lac... afin de la transférer dans la maison, par l'intermédiaire d'un plancher chauffant par exemple. L'installation d'une PAC eau/eau est rare étant donné qu'elle nécessite d'une part la présence proche d'eaux de surface ou d'une nappe phréatique et, d'autre part, l'autorisation administrative de leur utilisation.



6a Eau souterraine



6b Eau de surface

Fig. 6 PAC hydrothermique [EF4-10]

### Avantages et inconvénients des PAC

Les PAC présentent pour principal avantage que l'énergie de l'air, de l'eau mais plus particulièrement du sol est disponible en permanence, indépendamment des conditions météorologiques. De plus, cette énergie ne nécessite pas de stockage puisque son réservoir (air, eau, sol) joue lui-même le rôle. Enfin, un inconvénient propre à toutes les PAC réside dans le fait qu'elles nécessitent une alimentation en électricité qui, certes, pourrait être produite à partir de sources d'énergie renouvelables, mais c'est encore rarement le cas.

Le tableau de la page suivante particularise les avantages et inconvénients des 3 types principaux de PAC (aérothermique, géothermique et hydrothermique).

### Pompes à chaleur hybrides

Parle-t-on d'un bâtiment fort peu isolé, dont la consommation annuelle d'énergie de chauffage dépasse largement les 3000 litres de mazout (ou 3000 m<sup>3</sup> de gaz, ou 6500 kg de pellets)? Certes, il existe des pompes à chaleur qui produisent de l'eau à haute température (température de départ = 70°C), qui pourraient ainsi directement remplacer la chaudière et ne pas imposer d'agrandir la surface d'émission des radiateurs parce qu'ils reçoivent une eau de distribution moins chaude. Mais leur COP n'est guère performant à l'heure actuelle: il est préférable de réserver le choix d'une pompe à chaleur seule, sans

	Avantages	Inconvénients
PAC aérothermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilité d'installation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fortes variations journalières et saisonnières de la température de l'air qui peut devenir très basse.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coûts d'investissement réduits.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encombrement de l'échangeur si air statique.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faible encombrement de l'échangeur si air dynamique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'humidité de l'air extérieur peut provoquer du givre sur l'échangeur et diminuer son efficacité.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Source froide autour du capteur renouvelée en continu. Le phénomène de diminution progressive de la température de la source ne se produit pas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La température de la source froide est basse lorsque la demande en chaleur est élevée. Plus l'écart de température entre la température de consigne de chauffage et la source froide est important, moins bonne est la performance.</li> <li>Nécessité de prévoir un chauffage d'appoint qui prend le relais de la PAC lorsque la température extérieure devient trop basse.</li> <li>Nuisances sonores pouvant être importantes en présence d'échangeur dynamique.</li> <li>Généralement moins performante que les PAC géothermiques et hydrothermiques.</li> </ul>
PAC géothermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>La température du sol ne varie pas au cours d'une journée, et assez peu au cours d'une année → relative constance des performances de la PAC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour un logement bien isolé, la surface disponible pour un captage horizontal est d'environ 1,5 à 2 x la surface à chauffer.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>La température relativement élevée du sol (5 à 6°C en période hivernale à 60 cm de profondeur – captage horizontal, et 13°C à 10 m ou + de profondeur – captage vertical) est avantageuse par rapport à la température de l'air extérieur par temps froid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les capteurs doivent être à au moins 2 m des arbres, à 1,5 m des réseaux enterrés non hydrauliques, à 3 m des fondations, puits, fosses septiques...</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'installation de capteurs horizontaux est relativement simple et est moins onéreuse que celle des capteurs verticaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La PAC puisant de l'énergie au sol, celui-ci se refroidit progressivement durant la période de chauffe (attention à ne pas épuiser le sol).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lorsqu'elle est correctement dimensionnée, elle peut fonctionner sans appoint même dans les climats plus froids.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les capteurs verticaux ont des coûts beaucoup plus élevés que les capteurs horizontaux (essentiellement liés aux forages).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les capteurs verticaux ont une emprise au sol assez réduite.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Généralement plus performante que les PAC air-air.</li> </ul>	
PAC hydrothermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les performances d'une PAC sur eau souterraine sont élevées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'utilisation de la nappe phréatique ou des eaux de surface est soumise à autorisation. Avant d'entamer un tel projet, il faut faire le point sur les démarches administratives.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>La température de la source froide est élevée et relativement constante en souterrain.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les eaux de surface ont une importante variation de température.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Les coûts des forages dans la nappe phréatique sont élevés.</li> </ul>

appoint, lorsque la consommation de chauffage est inférieure à l'équivalent des 3 000 litres évoqués ci-dessus. Il n'empêche qu'avec l'évolution un peu disparate des prix des vecteurs énergétiques, on peut aussi s'orienter vers une solution hybride qui maintient une chaudière avec l'ensemble de son système hydraulique de distribution vers les radiateurs, mais à laquelle on adjoint une pompe à chaleur. Cela permet d'utiliser la pompe à chaleur lorsque la température extérieure reste encore supérieure à une température pivot, en-dessous de laquelle son COP faiblit, et de passer à la chaudière dès que la température extérieure passe sous cette température-pivot. En pratique, cette température-pivot est de l'ordre de 8 à 10°C (sur une moyenne calculée sur une période de 3 heures). Situons un exemple : une maison qui consomme l'équivalent de 2 000 litres de mazout (ou 2 000 m<sup>3</sup> de gaz) pourrait être chauffée par une chaudière «classique» dimensionnée pour les besoins de chauffage du bâtiment (on devrait être aux alentours de 11 kW), et l'on y adjoint une pompe à chaleur de 6 à 7 kW, à savoir environ 60 % de la puissance de la chaudière. Le choix de ce système hybride coûte le supplément de la PAC (d'environ 1 000 euros par kW, soit 6 000 euros) et le coût de la main d'œuvre de son installation (soit 2 hommes x 1 journée = environ 800 euros).

Le pilotage de ce système hybride peut donner priorité :

- ou bien à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : le système utilise la PAC (qui peut être alimentée en électricité 100 % verte) lorsque son COP est le plus performant, et passe à la chaudière dès que le COP diminue en-dessous d'un minimum à fixer ;

- ou bien au coût de la consommation : le système utilise la chaudière ou la PAC selon le moindre coût d'utilisation obtenu en tenant compte du prix du kWh jour (et nuit), du m<sup>3</sup> de gaz ou du litre de mazout.

## Conclusion

Afin de terminer le panorama des systèmes de chauffage disponibles, nous aborderons, dans un prochain article, les systèmes solaires (thermiques et photovoltaïques), utilisant donc l'énergie renouvelable solaire. Et, après ce passage en revue de l'ensemble des systèmes, un tableau décisionnel pourra aider au choix d'un système de chauffage dans un cas particulier, tenant compte des disponibilités de captation solaire ou de source froide, par exemple...

## Références

- [DIN -90] DIN (Deutsches Institut für Normung) (1990), *DIN 4702-8:1990-03 Central heating boiler; determination of the standard efficiency and the standard emissivity*.
- [ESUD-18] EnergySud-ULiège, 3E, Cible Communication, SPW Direction du bâtiment durable, *Guide PEB 2018*
- [EF4-10] EF4 (2010), *Les pompes à chaleur*
- [GW -16-2] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 décembre 2016 modifiant l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*.
- [HAUG-19] HAUGLUSTAINÉ J.-M. (2019), *Introduction à la thermique du bâtiment*, Notes de cours, ULiège
- [IBGE-07] IBGE, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (2007), *Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments*, Infos Fiches - Eco-construction



Prof. Jean-Marie Hauglustaine – Chargé de cours honoraire ULiège – [jmhauglustaine@uliege.be](mailto:jmhauglustaine@uliege.be)

# Remplacer la chaudière d'un logement existant : de quelles options disposons-nous aujourd'hui ?

L'article précédent (paru dans l'Architrave n°211 de mai 2022) a passé en revue une partie des systèmes de chauffage central possibles aujourd'hui : les chaudières (gaz naturel, propane, mazout) et les pompes à chaleur. Ce second article aborde les chaudières au bois et biomasse (pellets, bois-bûches) et les appoints solaires (solaire thermique et solaire photovoltaïque).

Enfin, le prochain article récapitulera les caractéristiques de tous ces systèmes pour permettre une comparaison et faciliter le choix du système le plus approprié au remplacement d'une chaudière existante, selon les contingences propres à chaque cas.

Petite précision sur la définition du rendement nominal des chaudières, explicitée dans le précédent article : le rendement nominal d'une chaudière est le rapport entre la puissance thermique transmise à l'eau de chauffage (reprise au **numérateur**) et la puissance contenue dans le combustible (reprise au **dénominateur**).

## CHAUDIÈRES FONCTIONNANT AU BOIS / BIOMASSE

Le bois peut également assurer le chauffage d'une habitation par un système centralisé. Les chaudières au bois fonctionnent selon le même principe que celles au gaz ou au mazout : les gaz de combustion chauffent un fluide caloporteur (le plus souvent de l'eau), circulant dans un réseau de canalisations. La chaleur ainsi véhiculée est ensuite restituée dans les différentes pièces de l'habitat par un système d'échange de chaleur (radiateurs, chauffage par le sol...).

L'avantage du bois réside surtout dans son bilan global en émission de CO<sub>2</sub> qui est meilleur que celui des combustibles fossiles ; toutefois, son utilisation nécessite des espaces de stockage adaptés et un entretien particulier.

Attention : dans le cas du bois, on ne pourra parler de combustible renouvelable que si la forêt dont le bois est issu est gérée de manière durable, c'est-à-dire en laissant aux plantations le temps d'atteindre leur maturité, avant de procéder à l'abattage.

Les chaudières à bûches, généralement chargées manuellement, sont pénalisées par la concurrence de systèmes moins contraignants. La modeste autonomie d'un grand nombre d'appareils confine presque exclusivement les ambitions de la filière à l'autoconsommation de rebuts de bois et de coupes d'entretien (artisanat, distribution rurale et périurbaine).

Ce type de chaudière est couplé à un ballon de stockage qui permet de faire fonctionner la chaudière à puissance nominale, c'est-à-dire à son meilleur rendement. Le surplus d'eau

chaude produite est stocké dans un ballon bien isolé. Celui-ci restitue l'eau chaude au circuit de chauffage aux moments de la journée où un apport de chauffage est nécessaire, alors que la chaudière n'est plus en fonctionnement.

### Chaudières à plaquettes

Les chaudières qui utilisent des plaquettes, des copeaux ou d'autres formes fractionnées de bois permettent une propreté et un confort similaires à ceux des combustibles fossiles. Le chargement est automatique et se fait soit par gravité, soit par un système de vis sans fin amenant le combustible dans le brûleur. Les plaquettes de bois occupent un volume relativement important et demandent un espace considérable de stockage à cause du foisonnement résultant du découpage en plaquettes.

### Chaudières à pellets

La chaudière à granulés de bois (pellets) permet une facilité de gestion équivalente à une chaudière au mazout ou au gaz, si elle est équipée d'une alimentation automatique et accompagnée d'un espace de stockage des granulés accessible à un camion souffleur pour la livraison.

Les chaudières à pellets présentent de nombreux avantages inhérents aux propriétés du combustible. Par le dosage précis de l'arrivée du combustible et de l'air comburant, la combustion des chaudières à pellets peut être très performante et propre. La plupart des chaudières à pellets sont alimentées par une vis sans fin, voire par un système de remplissage automatique par aspiration. L'allumage, l'alimentation en combustible, le contrôle du tirage, le décendrage, le nettoyage et la régulation sont entièrement automatiques (Fig. 1). Vu leur densité énergétique relativement importante, les pellets mobilisent un faible volume de stockage (ils sont moins foisonnants que les plaquettes).

Les chaudières à granulés (pellets) ont un bilan d'émission de CO<sub>2</sub> extrêmement réduit tout en maîtrisant les autres émissions polluantes.

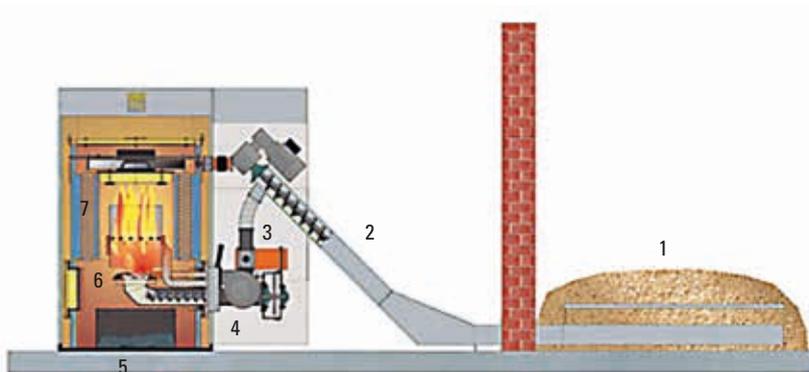


Fig. 1 Principe de fonctionnement d'une chaudière automatique à granulés de bois :

- 1 : silo de stockage des pellets
- 2 : vis d'extraction du combustible
- 3 : système de sécurité incendie,
- 4 : ventilateur pour l'air primaire et secondaire
- 5 : cendrier
- 6 : brûleur
- 7 : chauffage de l'eau par serpentin

(Source : Ökofen)

### Avantages et inconvénients du chauffage central au bois

Le chauffage central au bois présente des fonctionnalités avantageuses :

- + le chargement automatique des plaquettes ou pellets permet une facilité de gestion équivalente à celle d'un système de chauffage central au gaz ou au mazout ;
- + le rendement des chaudières à pellets peut être très élevé ;
- + le bilan en émissions de CO<sub>2</sub> est plus favorable que celui des chauffages centraux à énergie fossile.

Le chauffage au bois présente toutefois quelques inconvénients :

- le coût d'installation d'une chaudière à pellets de qualité est assez important ;
- il faut disposer d'un espace de stockage suffisant pour le bois ;
- un chargement manuel est requis en cas d'utilisation de bûches ;
- il engendre une émission importante de particules fines, surtout lorsque la combustion n'est pas optimale.

En Belgique, une surface horizontale d'un mètre carré reçoit, par an, une quantité d'énergie de 1 000 kWh environ, soit l'équivalent de 100 litres de mazout (ou 100 m<sup>3</sup> de gaz ou 220 kg de pellets).

Sous nos latitudes, étant donné la distribution des heures d'ensoleillement concentrées sur quelques mois de l'année, environ trois quarts de l'énergie solaire sont collectés entre avril et septembre, et les 25 % restants entre octobre et mars.

Une installation solaire thermique couvre totalement les besoins de chauffage de l'ECS durant les mois les plus chauds de l'année. Un appoint est nécessaire en hiver et à l'entre-saison.

### APPOINT SOLAIRE THERMIQUE ET PHOTOVOLTAÏQUE

Tous les systèmes de chauffage et d'eau chaude sanitaire peuvent profiter de l'apport d'énergie amené par un appoint solaire.

Toutefois, l'installation d'un système solaire thermique ou photovoltaïque ne peut être envisagée que si le bâtiment dispose d'une toiture, voire éventuellement d'un jardin, bien orientés et peu ou pas ombragés. Mais, placer des panneaux photovoltaïques en façade est également possible, même si leur apport s'avèrera moins efficace.

### Les capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires thermiques classiques sont des éléments qui convertissent directement l'énergie solaire en chaleur, qui est récupérée grâce à un fluide caloporteur qui s'échauffe en circulant dans l'absorbeur. Le fluide chauffé peut servir au chauffage de l'eau chaude sanitaire (ECS), ou pour le chauffage des locaux et de l'ECS.

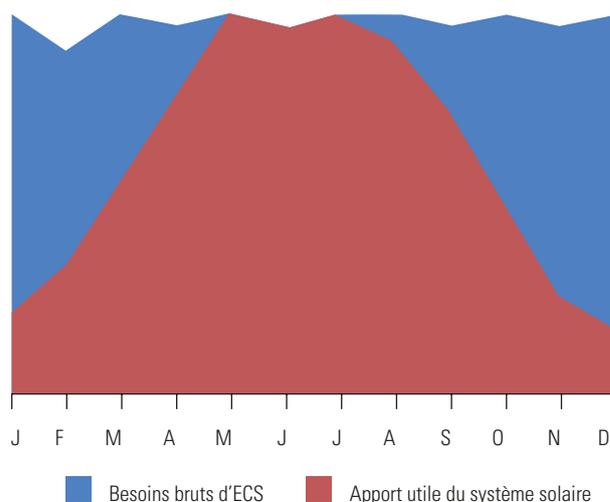


Fig. 2 Besoins en ECS et apport d'une installation solaire thermique (exemple de résultats obtenus avec le logiciel PEB)

		Inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Fig. 3 : Facteur de correction du flux solaire incident sur un capteur selon son orientation et son inclinaison, par rapport au flux reçu par un capteur orienté plein sud et incliné de 35° par rapport à l'horizontale = 100 %

Idéalement, les capteurs seront orientés entre le sud-est et le sud-ouest, et inclinés de 25° à 60° par rapport à l'horizontale. Une orientation «plein est» ou «plein ouest» entraîne une perte de rendement des capteurs d'environ 20 %. Au-delà (nord, nord-est, nord-ouest), les rendements chutent rapidement, tout en restant quand même supérieurs à 50 % (Fig. 3).

On distingue les capteurs plans, des capteurs tubulaires :

- les capteurs plans (Fig. 4) comportent une surface plane absorbant la chaleur, au-dessus de laquelle est éventuellement (mais pas toujours) placé un vitrage. Généralement moins chers, certains ont, en plus, un rendement supérieur aux capteurs tubulaires, dans les conditions «faciles», à avoir un fort ensoleillement et une faible différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant. Ce type de capteur présente un bon rapport coût/performance, et est actuellement le plus utilisé.

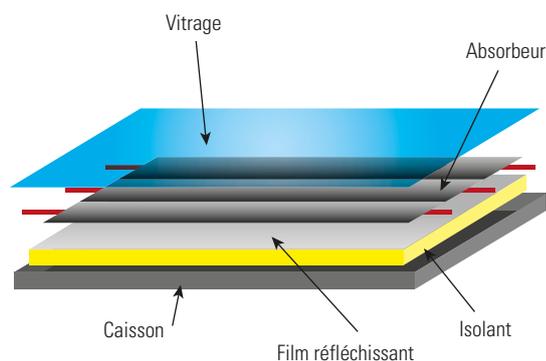


Fig. 4 Capteur thermique plan

- Les capteurs tubulaires (Fig. 5) sont constitués de tubes en verre, dans lesquels le vide d'air a été réalisé. Ils ont le meilleur rendement dans les moins bonnes conditions : une énergie solaire relativement faible et/ou une basse température extérieure. Étant plus efficaces lorsqu'il fait froid, ils sont recommandés si l'installation est également combinée au

chauffage des locaux. En été, par contre, ces capteurs sont moins performants que certains capteurs plans.

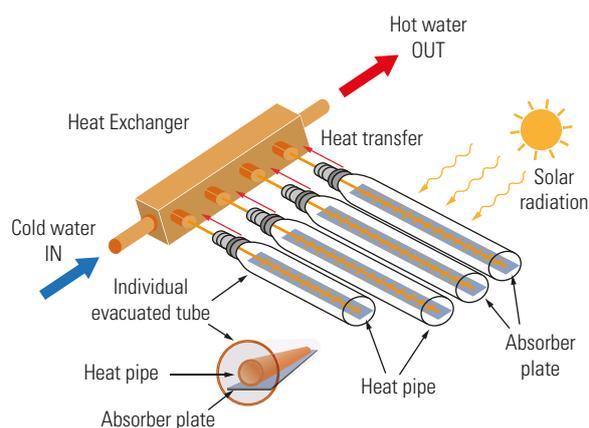


Fig. 5 Capteur thermique tubulaire

### Le principe du chauffe-eau solaire

Le principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire est simple (voir Fig. 6 ci-dessous) :

- Un capteur solaire thermique (1) transforme le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur (= un corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basses). L'absorbeur transfère la chaleur à un fluide caloporteur circulant au travers du capteur.
- Cette chaleur est acheminée par le fluide caloporteur vers le serpentin échangeur de chaleur placé en partie inférieure du ballon de stockage (2). Afin de conserver au mieux la chaleur captée, une isolation thermique renforcée du ballon de stockage est conseillée. Un circulateur (3) fait circuler le fluide caloporteur entre les capteurs et le ballon de stockage. Ce circulateur s'enclenche automatiquement par la régulation (4) lorsque la température du fluide à la sortie des capteurs est supérieure à la température de l'eau sanitaire dans le bas du réservoir de stockage.

- En cas d'ensoleillement insuffisant, une source d'énergie d'appoint (5) porte l'eau préchauffée à la température souhaitée. Cet appoint peut être réalisé par une chaudière, un chauffe-eau instantané ou une résistance électrique.

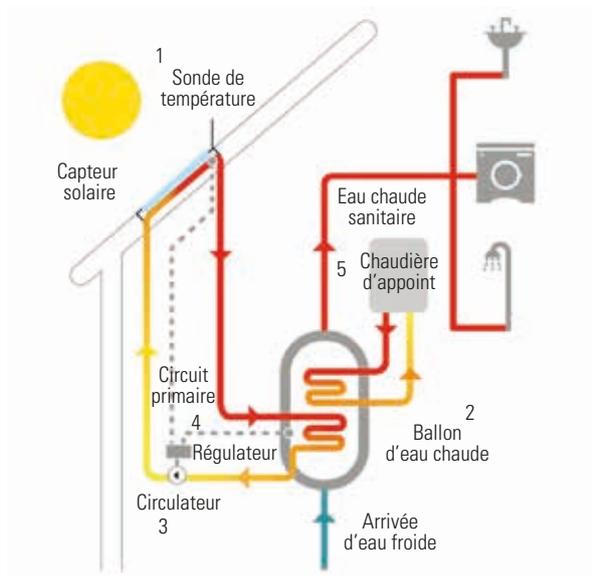


Fig. 6 Principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire

Dans la toute grande majorité des cas, cette technologie est envisagée pour produire l'eau chaude sanitaire. La production solaire thermique pour le chauffage et l'ECS (cf. système solaire combiné) n'est pas courante car elle est moins appropriée au climat belge et aux besoins de chauffage correspondants. En effet, le problème essentiel du chauffage par capteurs thermiques est la non-simultanéité de la production solaire possible et de la demande de chauffage du bâtiment (cf. Fig. 7).

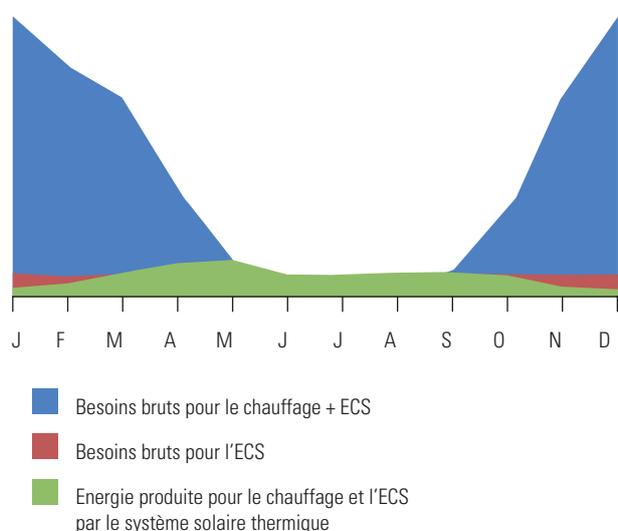


Fig. 7 Non-simultanéité de la production solaire possible et de la demande de chauffage : exemple de résultat obtenu avec le logiciel PEB, pour un bâtiment moyennement isolé muni de 10 m<sup>2</sup> de capteurs orientés sud, sur un versant de toiture incliné à 35 degrés par rapport à l'horizontale

### Avantages et inconvénients du solaire thermique

Les avantages du solaire thermique sont multiples :

- + l'énergie solaire est inépuisable et non polluante ;
- + un système solaire thermique peut assurer une bonne partie des besoins en ECS ;
- + les technologies à mettre en œuvre pour utiliser l'énergie solaire thermique sont aisément maîtrisables et adaptables aux contingences particulières d'un bâtiment ;
- + les frais de maintenance et de fonctionnement sont réduits, même si l'entretien des installations ne doit pas être négligé ;
- + l'installation de panneaux solaires thermiques est généralement rentabilisée après quelques années et permet ensuite de réaliser des économies.

Le solaire thermique présente quelques inconvénients :

- l'énergie produite est variable dans le temps en fonction des saisons, ce qui implique de la stocker et de disposer d'une source d'énergie d'appoint ;
- la puissance disponible par unité de surface est relativement limitée ;
- la couverture des besoins de chauffage des locaux par le solaire thermique reste faible, sous nos latitudes.

### Les capteurs solaires photovoltaïques

L'électricité d'origine photovoltaïque (PV) présente un intérêt évident sur le plan de la protection de l'environnement, comparée à l'électricité produite à partir d'énergie fossile ou nucléaire : aucune émission de gaz à effet de serre, aucun coût d'extraction ni de transport (lorsqu'elle est consommée sur place), ni de retraitement, sauf ce qui a été nécessaire à la fabrication des composants, à leur transport jusqu'au bâtiment et à leur recyclage et élimination en fin de vie en œuvre.

L'installation de panneaux solaires photovoltaïques peut être envisagée :

- sur une toiture via l'installation de panneaux fixes ;
- mais également au sol sur des structures à inclinaison éventuellement variable ou sur des panneaux mobiles qui suivent la course du soleil tout au long de la journée ;
- ou encore sur les façades d'un bâtiment.

En Belgique, comme pour le solaire thermique, le rendement optimum pour les panneaux photovoltaïques fixes est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison de 35°. Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Une installation photovoltaïque orientée entre le sud-est et le sud-ouest avec une inclinaison par rapport à l'horizontale comprise entre 15° et 50° produira une quantité d'énergie presque optimale (voir Fig. 3 supra). Les combinaisons orientation-inclinaison qui conduisent à une efficacité inférieure à 80 % sont en principe à

éviter sauf si cette combinaison est le résultat d'une contrainte architecturale ou du souhait de recourir aux énergies renouvelables, même moins efficacement, par exemple en revêtant des façades de capteurs photovoltaïques.

#### Le PV en quelques mots...

1 m<sup>2</sup> de capteur génère une puissance électrique maximale «instantanée» de 100 à 170 Wc (Watt crête\*), ce qui conduit à une production annuelle de 70 à 80 kWh/an. Cette production est naturellement très inégalement répartie : elle varie de 0,6 kWh par jour en moyenne en décembre, à 4,1 kWh en juin.

\* La puissance crête d'un système photovoltaïque correspond à la puissance électrique qu'il délivre dans des conditions standard d'ensoleillement (1 000 W/m<sup>2</sup>) et de température des capteurs (25 °C). La puissance crête correspond plus ou moins à la notion de puissance maximale, par ex. : un module de 200 Wc est un module qui produira une puissance électrique de 200 W si il reçoit un ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup>.

#### Le principe du photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont composées de matériaux semi-conducteurs (silicium) qui absorbent l'énergie lumineuse et la convertissent directement en électricité. Les cellules photovoltaïques sont raccordées entre elles pour former un module (panneau). L'effet photovoltaïque fournit un courant continu qui est converti, par un onduleur, en courant alternatif possédant les caractéristiques du réseau. Le courant alternatif produit est transféré sur le réseau du bâtiment, sur le réseau du distributeur, ou encore alimente une batterie de stockage.

En général, le générateur photovoltaïque est raccordé au réseau. Il est dès lors indispensable de se soumettre aux prescriptions techniques imposées par le gestionnaire du réseau d'électricité. Ce système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur, puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation de l'électricité. A la sortie de l'onduleur se branche un compteur électrique qui tourne à l'envers en évitant ainsi de prélever du courant (payant) sur le réseau ou qui enregistre la production du générateur pour le suivi de son bon fonctionnement et pour établir la facture de vente de l'électricité produite via le réseau.

Attention : cette disposition du «compteur qui tourne à l'envers» n'est déjà plus applicable en Région flamande, ni en Région de Bruxelles-Capitale. Elle l'est encore en Wallonie, jusqu'en 2030 et uniquement pour les installations en service avant le 1<sup>er</sup> janvier 2024.

Comme pour le solaire thermique, la quantité d'énergie produite par une installation photovoltaïque dépend de sa surface, de son orientation (il est recommandé de s'en tenir au quadrant allant du sud-est au sud-ouest), de l'inclinaison des cellules et de l'intensité du rayonnement solaire qui, elle, varie selon la période de la journée et de l'année, la couverture nuageuse, la pollution de l'air et le degré d'encrassement du capteur.

#### Avantages et inconvénients du solaire photovoltaïque

Le solaire PV présente comme avantages :

- + une longue durée de vie du système, qui peut certainement dépasser 25-30 ans. Elle est un paramètre essentiel d'un investissement photovoltaïque. L'onduleur, par contre, devient moins efficace au bout d'une dizaine d'années, période au bout de laquelle il est préférable de le remplacer sans attendre la fin de vie du système complet ;
- + l'installation de panneaux photovoltaïques permet à l'utilisateur de devenir partiellement ou entièrement indépendant par rapport à l'évolution du coût de l'électricité ;
- + la mise en place du système est particulièrement simple, même dans un habitat ancien ;
- + le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques qui pourraient varier dans le futur ;
- + ses coûts de fonctionnement sont très faibles, vu les entretiens réduits, et ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement qualifié ;
- + l'énergie grise de départ (nécessaire à la production des cellules photovoltaïques) est rapidement récupérée au bout de quelques années (en moins de 5 ans) ;
- + les cellules photovoltaïques peuvent, aujourd'hui, être recyclées quasi intégralement.

Le solaire PV présente quelques inconvénients :

- la fabrication du module photovoltaïque relève d'une haute technologie et requiert des investissements importants ;
- le faible rendement réel de conversion d'un module, à savoir le ratio entre l'énergie électrique produite (au numérateur) et l'énergie lumineuse reçue (au dénominateur) se situe autour de 10 % (silicium amorphe), jusqu'à 25 % (silicium monocristallin) : voir Fig. 8 ci-après ;
- l'installation ne peut être envisagée que si l'ombrage est faible, voire inexistant ;
- la surface des modules doit être maintenue aussi propre que possible, en y nettoyant régulièrement les déjections d'animaux, mousses, etc. : un nettoyage régulier évite une perte de rendement que provoquent ces salissures.

# Best Research-Cell Efficiencies

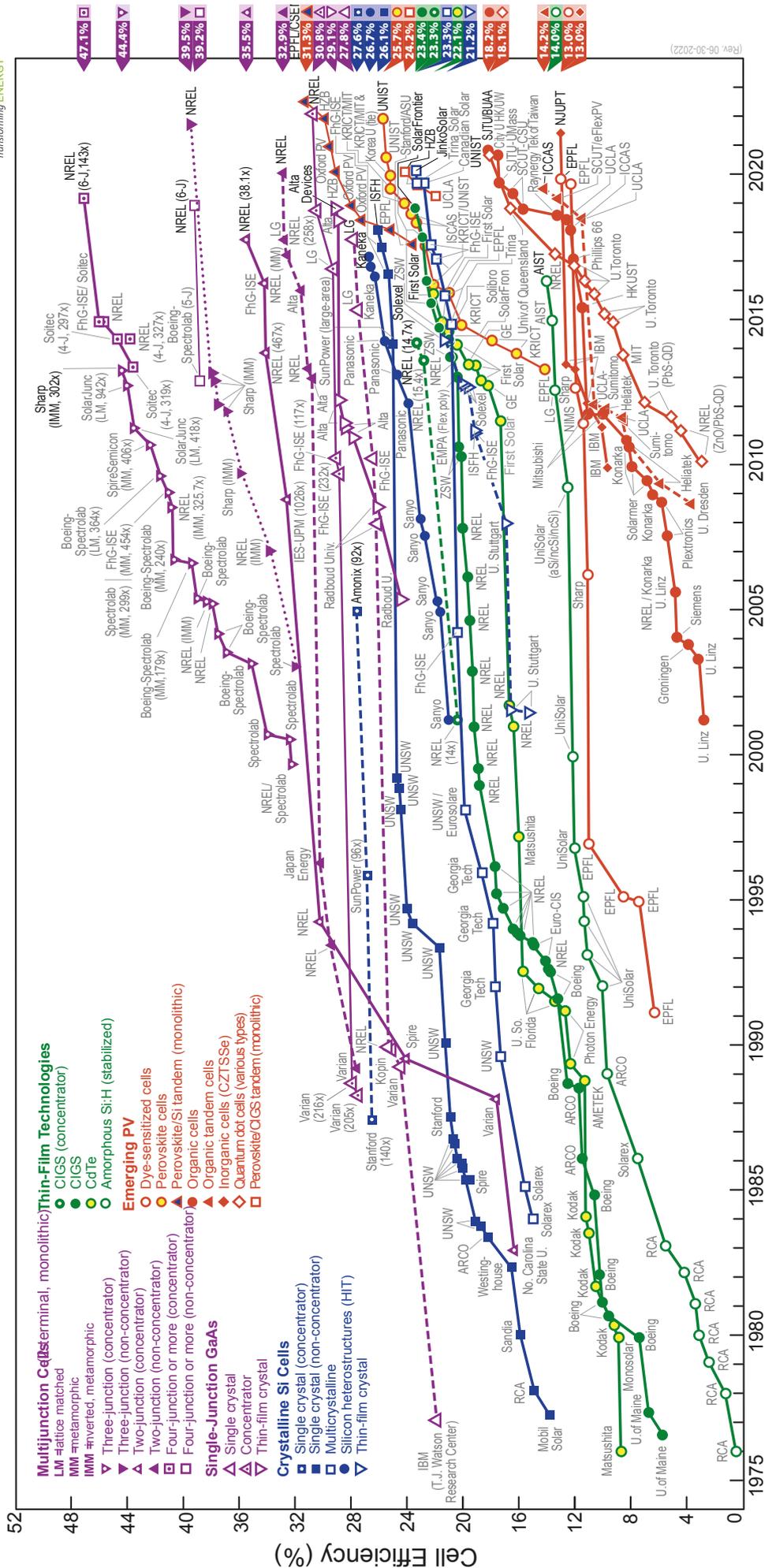


Fig. 8: Rendement de conversion des meilleures cellules photovoltaïques mesuré en laboratoire, de 1975 à 2015, pour différentes technologies photovoltaïques: en vert, le silicium amorphe; en bleu: le silicium monocristallin.  
 Source: NREL (National Renewable Energy Laboratory) (2022), Best Research-Cell Efficiency of the highest confirmed conversion efficiencies for research cells for a range of photovoltaic technologies, plotted from 1976 to the present, sur le site [www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html](http://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html) visité le 31/08/22.

## CONCLUSION

On comprend que, après ce passage en revue des systèmes de chauffage actuellement possibles, et des apports solaires, il est peut-être difficile de repérer le système le plus adéquat pour remplacer une chaudière existante.

Tous les systèmes ne peuvent pas être appliqués sur n'importe quel bâtiment, puisqu'ils comportent des contraintes comme, par exemple, la nécessité d'une cheminée, d'une superficie de captation, d'un espace disponible (extérieur ou intérieur) pour le stockage du combustible, d'un ballon de stockage intermédiaire, etc.

Autre différenciation entre les systèmes: ils pourront certes se raccorder au réseau hydraulique portant le fluide caloporteur vers les émetteurs de chaleur existants, mais certains ne seront efficaces que si ces émetteurs ont une superficie suffisante pour fonctionner à faible température.

Le prochain article récapitulera donc les caractéristiques des systèmes de chauffage actuels, dans le but de faciliter le choix du système le plus approprié au bâtiment dont on souhaite remplacer la chaudière existante.

## SAVE THE DATE 19 janvier 2023

**Pour approfondir davantage ce sujet et aborder des pistes de solutions pour le remplacement d'une chaudière**, la SRAVE organise une rencontre



avec l'auteur, Jean-Marie Hauglustaine, le jeudi **19 janvier 2023** à partir de 17h, avenue du Parc 42 à 4650 Chaineux

- **Quelles solutions** proposer? **Quels points d'attention** pour l'architecte et l'installateur?
- **Pistes et conseils** pour choisir le système de chauffage central le plus approprié à un logement existant
- **Echanges d'expériences** à travers des situations pratiques.

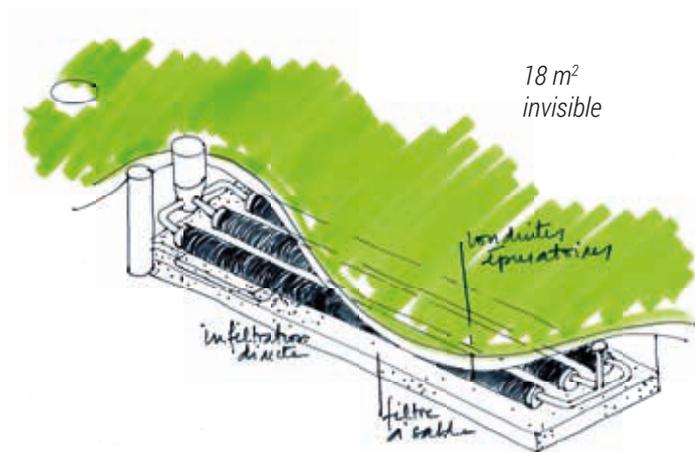
**SRAVE**  
SOCIÉTÉ ROYALE DES  
ARCHITECTES  
DE VERVERS ET ENVIRONS

.....  
Infos pratiques et inscription  
en ligne sur [www.srave.be](http://www.srave.be)

**LIMPIDO**  
WATER-NOVATION



L'épuration autonome, c'est nous!  
**sans ÉLECTRICITÉ**  
**sans ENTRETIEN**  
**avec PERFORMANCES**



Microstation d'épuration ENVIRO 5EH

- ✓ Agréé **SPGE** (depuis 12 ans)
- ✓ Conforme **CERTIBEAU**
- ✓ Primé par **SOLAR IMPULSE**

À vos côtés de A à Z

**Contactez-nous**

T +32 (0)494 15 10 48 – [WWW.LIMPIDO.BE](http://WWW.LIMPIDO.BE)



Prof. Jean-Marie Hauglustaine – Chargé de cours honoraire ULiège – [jmhauglustaine@uliege.be](mailto:jmhauglustaine@uliege.be)

# Remplacer la chaudière d'un logement existant : de quelles options disposons-nous aujourd'hui ?

Les deux articles précédents (parus dans *architrave* n°211 de mai 2022 et n°213 de décembre 2022) ont passé en revue les systèmes de chauffage central possibles aujourd'hui : les chaudières (gaz naturel, propane, mazout, bois, biomasse), les pompes à chaleur et les appoints solaires (solaire thermique et solaire photovoltaïque).

Ce troisième article récapitule les caractéristiques principales de tous ces systèmes pour permettre une comparaison et faciliter le choix du système le plus approprié à un logement et une situation donnés, lors du remplacement d'une chaudière existante, et selon les contingences propres à chaque cas.

## RÉCAPITULATIF DES CONTRAINTES ET USAGES DES SYSTÈMES

Le tableau repris sur la double page suivante (p26 et 27) récapitule l'ensemble des systèmes qui ont été décrits dans les deux articles précédents. Il est organisé de la façon suivante :

- en lignes, sont repris les appoints solaires (thermique et photovoltaïque), les chauffages centraux (pompes à chaleur, chaudières bois et chaudières gaz ou mazout) ;
- en colonnes, sont détaillés les contraintes propres à chaque système, la nécessité – ou non – d'une cheminée, l'obligation – ou non – d'un ballon de stockage, l'émission de la chaleur à basse ou à haute température, le couplage possible – ou non – avec l'eau chaude sanitaire (ECS), enfin l'ordre de grandeur des coûts d'investissement et d'utilisation, ainsi que de la consommation d'énergie primaire et l'impact environnemental en émissions de CO<sub>2</sub>.

## LES + ET LES – DES APPOINTS SOLAIRES

### Contraintes des appoints solaires

Les deux premières lignes du tableau font apparaître la nécessité d'une captation extérieure du rayonnement solaire sur les panneaux (thermiques ou photovoltaïques), à savoir de pouvoir disposer de (parties de) parois de l'enveloppe qui soient bien orientées et peu ombragées. Nous parlons ici d'une orientation entre sud-est et sud-ouest, et d'une inclinaison entre 25 à 60° (par rapport à l'horizontale), ce qui permet d'obtenir, intrinsèquement, les meilleures valeurs d'apports solaires (voir le tableau de la figure 3 du 2<sup>e</sup> article) dans les conditions climatiques belges.

Pour ce qui concerne les panneaux photovoltaïques, la compensation annuelle des kWh produits et consommés, que permettait le compteur tournant à l'envers, va bientôt faire place à une compensation quart d'heure par quart d'heure. On en vient dès lors à plutôt préférer des apports peut-être de moindre amplitude mais mieux répartis sur les 12 mois de l'année, afin d'optimiser la couverture des besoins énergétiques. Une orientation est – ou ouest – et une inclinaison moindre (15°) correspondront mieux à ce nouveau mode de facturation de l'électricité achetée au réseau.

Un ballon de stockage tampon est nécessaire pour le solaire thermique.

### Coûts des appoints solaires

Les coûts d'investissement sont importants, d'autant plus si l'installation solaire (thermique ou photovoltaïque) est utilisée pour le chauffage. Ils sont plus raisonnables si le solaire thermique se limite à préchauffer l'eau chaude sanitaire. Pour autant que l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques soit utilisée pour les besoins domestiques (éclairage, appareils électroménagers, etc.), l'investissement d'une installation photovoltaïque reste raisonnable également.

### Consommation d'énergie primaire et impact environnemental des appoints solaires

Les appoints solaires (thermique ou photovoltaïque) génèrent une production d'énergie et n'entraînent aucune consommation d'énergie primaire qui leur serait nécessaire pour fonctionner (sauf la faible consommation du circulateur pour le solaire thermique) : par rapport au critère de la consommation d'énergie primaire, les appoints solaires sont très bénéfiques, ainsi que l'impact environnemental en émissions de CO<sub>2</sub>.

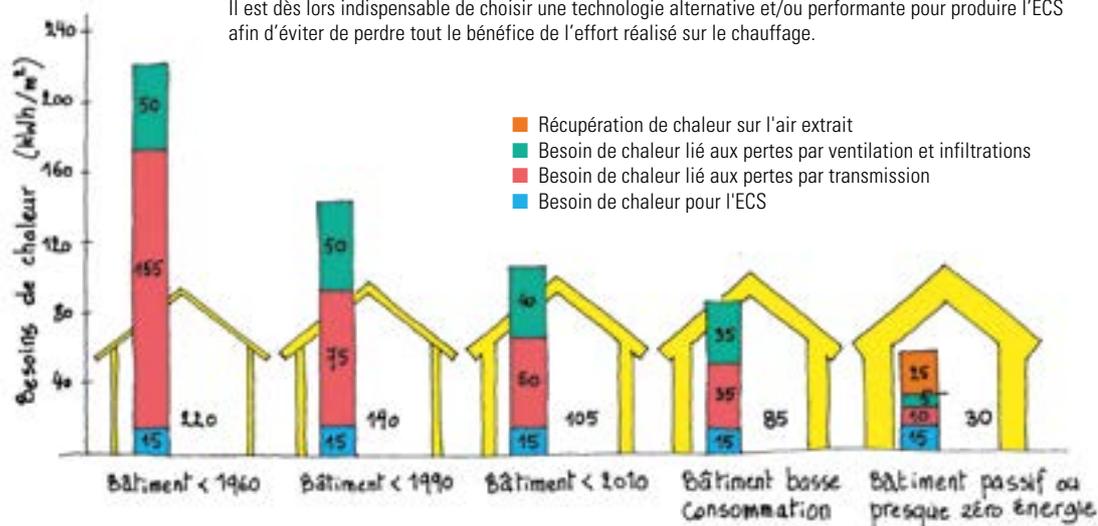
## LES + ET LES – DES CHAUDIÈRES BOIS / GAZ / MAZOUT

### Contraintes des installations de chauffage avec chaudière

Les 5 dernières lignes du tableau récapitulent les contraintes propres aux chaudières de chauffage central. Sauf pour le cas du gaz naturel où il faut évidemment être raccordé à un réseau de distribution du gaz, les chaudières nécessitent, toutes, un espace de stockage, à situer à l'extérieur (obligatoirement pour le propane) ou à l'intérieur du bâtiment.

Elles demandent, toutes également, une cheminée pour évacuer les gaz de combustion ; un système ventouse peut aussi répondre à cet impératif. Un ballon de stockage tampon est obligatoire avec les chaudières bois / bûches / pellets ; on peut en général s'en passer avec les chaudières gaz ou mazout.

Lorsqu'un effort important a été réalisé en vue de réduire fortement les besoins du bâtiment, la performance de l'impact environnemental pourrait être quantitativement moins déterminante dans le choix d'une technologie pour couvrir les besoins de chauffage. Néanmoins, même s'il est possible de réduire quasi à néant ses besoins de chauffage, les besoins en ECS restent effectifs, quelle que soit la performance du bâtiment. Il est dès lors indispensable de choisir une technologie alternative et/ou performante pour produire l'ECS afin d'éviter de perdre tout le bénéfice de l'effort réalisé sur le chauffage.



Concernant l'émission de la chaleur au sein des locaux, le choix d'une basse température (avec le chauffage sol ou des radiateurs adéquatement dimensionnés) est préférable à celui d'émetteurs à haute température parce que le rendement de production de la chaudière sera meilleur. En effet, plus faible est la température des canalisations de retour des radiateurs, plus se condense la vapeur d'eau présente dans les gaz de combustion, et plus cette énergie est transférée à l'eau caloporteuse.

Toutes les chaudières peuvent évidemment assurer le chauffage de l'eau chaude sanitaire.

### Coûts des installations de chauffage avec chaudière

En matière de coûts d'investissement, les chaudières au bois sont plus chères que les chaudières gaz, propane ou mazout. Par contre, leur coût d'utilisation est en général un peu moins élevé grâce à un prix d'achat du bois souvent meilleur marché que le gaz, le propane ou le mazout. Mais le marché de l'énergie est très fluctuant : ce qui est vrai aujourd'hui ne l'est pas nécessairement demain...

### Consommation d'énergie primaire et impact environnemental des installations de chauffage avec chaudière

Si l'on s'intéresse à la consommation d'énergie primaire, le rendement des chaudières gaz à condensation est le meilleur de toutes les chaudières, ce qui leur confère un avantage réel. Enfin, l'impact environnemental en émissions de CO<sub>2</sub> est beaucoup plus faible dans le cas des chaudières au bois, si l'on prend en compte le fait que le bois a capté du CO<sub>2</sub> pendant sa croissance, et qu'il le restitue au moment de la combustion. Le même raisonnement pourra s'appliquer aux chaudières au gaz lorsque le réseau de gaz naturel distribuera du méthane, et aux chaudières au mazout lorsque le mazout sera remplacé par du biocarburant...

### LES + ET LES – DES POMPES À CHALEUR Contraintes des installations de chauffage avec PAC

Les lignes 3 à 8 du tableau reprennent les contraintes et usages propres aux pompes à chaleur : air-eau, air-air, sol-eau (captage horizontal ou vertical), sol-sol et eau-eau.

La condition première de la mise en place d'une pompe à chaleur est la disponibilité d'une source froide apportant l'énergie que la pompe à chaleur va transférer au bâtiment. Selon la disposition du site où se trouve le bâtiment que l'on désire chauffer, il sera possible de valoriser un accès possible à l'eau de la nappe phréatique ou souterraine, ou bien de mettre en place un captage horizontal dans le sol proche du bâtiment, ou encore un captage en profondeur.

Cet accès peut s'avérer difficile, voire impossible :

- parce que l'on ne peut pas obtenir une autorisation de captage dans les eaux souterraines, par exemple ;
- parce que le terrain proche du bâtiment est d'une superficie trop réduite pour réaliser un captage horizontal suffisant ;
- parce qu'il n'y a pas de terrain accessible autour du bâtiment ;
- parce que les lieux ne permettent pas de mettre en œuvre le matériel nécessaire pour forer en profondeur...

Si l'accès à l'eau ou au sol comme source froide n'est pas possible, il reste évidemment toujours l'accès à l'air extérieur, au prix d'un coefficient de performance un peu moins élevé que celui que l'on peut obtenir avec les PAC utilisant l'eau ou le sol comme source froide : on peut donc toujours installer une pompe à chaleur, n'importe où...

Comme toutes les technologies utilisant des énergies renouvelables, la performance de la PAC dépend du milieu gratuit lui servant de source froide : que ce soit le sol du jardin ou l'air

Figure 1 : récapitulatif des contraintes et opportunités des systèmes de chauffage central

	Appareil producteur	Disponibilité de captation ou d'espace extérieur	Disponibilité d'espace intérieur	Autre(s) contrainte(s)	Cheminée	Ballon de stockage tampon		
ENERGIE SOLAIRE	Solaire thermique	Disponibilité de captation extérieure : parois de l'enveloppe bien orientées et peu ombragées (Rem 1)	—	—	—	Oui		
	Solaire photovoltaïque		—	—	—	—		
CHAUFFAGE CENTRAL	PAC air-eau	Emplacement pour l'unité extérieure	—	Si puissance > 14 kW : PAC hybride ↑ nécessité d'un chauffage d'appoint	Disposer d'un raccordement électrique d'une puissance suffisante	—	Généralement non	
	PAC air-air		—			—	Généralement non	
	PAC sol-eau (captage horizontal)	Emplacement pour l'échangeur géothermique horizontal (surface importante)	—			—	Généralement non	
	PAC sol-eau (captage vertical)	Emplacement pour échangeur géothermique vertical	—			—	Généralement non	
	PAC sol-sol (détente directe)	Emplacement pour l'échangeur géothermique horizontal (surface importante)	—			—	Généralement non	
	PAC eau-eau	Captation d'eau de surface ou de la nappe. Attention : nécessite une autorisation de captage	—			—	Généralement non	
	Chaudière pellets	Si réserve de pellets à l'extérieur	Si réserve de pellets à l'intérieur			—	Oui (sauf si ventouse)	Obligatoire
	Chaudière bois/bûches	Si réserve de bois-bûches à l'extérieur	Si réserve de bois-bûches à l'intérieur			Alimentation manuelle du combustible	Oui (sauf si ventouse)	Obligatoire
	Chaudière gaz naturel	—	—			Raccordement à un réseau de gaz naturel	Oui (sauf si ventouse)	Généralement non
	Chaudière propane	Emplacement pour la citerne (aérienne ou enterrée), à l'écart du bâtiment	—			—	Oui (sauf si ventouse)	Généralement non
Chaudière mazout	Si citerne placée à l'extérieur	Si citerne placée à l'intérieur	—	Oui (sauf si ventouse)	Généralement non			

Remarques

1 : toiture inclinée de 25°C à 60°C et orientée entre SE et SO, ou toiture plateforme, ou superficies opaques verticales (mais moindre captation)

Emetteurs à basse température (solution obligatoire à terme)	Emetteurs à haute température (solution condamnée à terme)	Couplage avec ECS	Coût d'investissement pour une installation complète	Coûts d'utilisation	Consommation d'énergie primaire	Impact environnemental en émissions de CO <sub>2</sub>
Possibles, <b>mais production inversément proportionnelle au besoin de chauffage</b> + combinaison obligatoire avec un appareil producteur apportant l'appoint	—	Vocation première	€€€€€ pour chauffage (mais €€€ pour ECS)	€	😊	😊
—	—	—	€€€€€ pour chauffage (mais €€€ pour électricité)	€	😊	😊
Indispensables	—	Possible, mais ⚠️ puissance	€€	€€	😐	😐
Indispensables	—	Possible, mais ⚠️ puissance	€	€€	😐	😐
Indispensables	—	Possible	€€€	€€	😊 😐	😊 😐
Indispensables	—	Possible	€€€€	€€	😊 😐	😊 😐
Indispensables	—	—	€€€	€€	😊	😊
Indispensables	—	Possible	€€€	€€	😊 😐	😊 😐
Possibles	Possibles si chaudière « traditionnelle »	Possible	€€€	€€	😐 😐	😊 😐
Possibles	Possibles si chaudière « traditionnelle », mais rendement ↘	Possible	€€€	€€	😐 😐	😊 😐
Possibles	Possibles si chaudière « traditionnelle », mais rendement ↘	Possible	€	€€€	😐	😐 (Rem 2)
Possibles	Possibles si chaudière « traditionnelle », mais rendement ↘	Possible	€	€€€	😐 😐	😊
Possibles	Possibles si chaudière « traditionnelle », mais rendement ↘	Possible	€	€€€	😊 😐	😊 😐 (Rem 3)

+ possibilité d'alimentation électrique par des panneaux photovoltaïques

2: l'appréciation devient 😐😐 si méthane dans le réseau de gaz

3: l'appréciation devient 😐😐 si biocarburant au lieu de mazout

extérieur, la température de la source froide varie au cours du temps sur une saison de chauffe. Or cette température conditionne la température d'évaporation, et donc à la fois le flux de chaleur fourni à l'habitation et la puissance électrique consommée. Il n'y a que le captage en grande profondeur, c'est-à-dire au-delà de 50 m, qui profite d'une température quasi constante tout au long de l'année.

Dès lors, une installation utilisant, par exemple, l'air extérieur comme source froide, pourra ainsi voir son COP diminuer fortement par grand froid, ce qui ne permet pas d'assurer le confort thermique de l'habitation en toutes circonstances. Si la PAC ne fournit pas, à elle seule, la puissance nécessaire pour couvrir la demande thermique, notamment durant les jours les plus froids de l'hiver, une chaudière au mazout, au gaz, voire un poêle à pellets (si l'eau chaude sanitaire n'est pas chauffée par la PAC) peut fournir l'appoint, ou prendre entièrement le relais. On parle alors d'un système hybride. Dans l'état actuel de la technologie des PAC, ce recours à l'appoint est conseillé lorsque les besoins de chauffage (qui étaient définis au début du premier article) dépassent 14 kW, valeur à considérer comme un ordre de grandeur. Certes, il existe des PAC qui peuvent fournir une puissance supérieure, mais leur coût d'investissement devient dissuasif par rapport à celui d'un chauffage central traditionnel avec chaudière.

Une autre solution est de réaliser une installation avec un appoint électrique. Cela nécessite un faible investissement mais peut contribuer à une surconsommation électrique : le choix de la solution «PAC» est donc particulièrement intéressant lorsque l'isolation de l'enveloppe a bien réduit les besoins de chauffage.

D'autant plus si l'appoint est électrique, il faudra toujours vérifier au préalable que l'installation électrique du logement peut fournir une puissance suffisante pour le bon fonctionnement de la PAC. Dans certains cas, un renforcement de cette puissance devra être apporté.

Sauf si elles produisent l'eau chaude sanitaire, les PAC ne nécessitent pas, en principe, l'installation d'un ballon de stockage tampon.

Enfin, il faut préciser que l'émission de la chaleur dans les locaux doit obligatoirement se réaliser à «basse» température, à savoir rester sous les 40°C, afin que la PAC reste performante. Bien sûr, il existe, technologiquement, des PAC capables de fournir une eau à une température plus élevée, mais elles sont actuellement plus chères, et leur COP est moins intéressant.

L'émission de la chaleur à basse température est réalisable au moyen d'un émetteur de grande superficie comme le plancher (chauffage par le sol) ou les murs (chauffage mural), ou avec des radiateurs suffisamment grands, ou encore avec des ventilo-convecteurs dont le ventilateur renforce l'échange de chaleur. Donc, il faudra bien vérifier que les émetteurs de chaleur, dans chaque local, resteront capables de fournir la chaleur souhaitée, même avec une température de distribution plus basse que celle que permettait le système de chauffage initial.

### **Coûts des installations de chauffage avec PAC**

On en vient ainsi au coût d'investissement d'une installation avec PAC : les PAC air-eau ou air-air sont moins chères que celles utilisant l'eau ou le sol comme source froide, surtout dans le cas d'un captage à grande profondeur. Le coût d'utilisation des PAC reste modéré si les besoins de chauffage ont été réduits.

### **Consommation d'énergie primaire et impact environnemental des installations de chauffage avec PAC**

La consommation d'énergie primaire des PAC, et les émissions de CO<sub>2</sub> qui y sont associées, dépendent de leur coefficient de performance, qui est un peu plus faible pour les PAC utilisant l'air comme source froide.

Attention, remarque importante, voire essentielle dans le contexte de la transition énergétique : le vecteur énergétique qu'utilisent les PAC étant l'électricité, elles peuvent ainsi valoriser l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques, qui est une énergie renouvelable.

### **CONCLUSIONS**

Voilà ainsi esquissé le panorama des solutions technologiques existantes pour réaliser un système de chauffage central.

Bien sûr, au-delà des réflexions techniques, le choix du vecteur énergétique utilisé pourrait être influencé par une fenêtre temporellement favorable du marché énergétique pour un vecteur ou un autre. Il faut toutefois rester conscient que le marché de l'énergie dépend, en grande partie, du contexte géopolitique.

Par contre, lorsque l'on a abaissé les besoins de chaleur du bâtiment par une isolation thermique de l'enveloppe, par un renforcement de son étanchéité à l'air et par une ventilation bien organisée, la chute de consommation de chauffage qui en résulte restera acquise... quel que soit le contexte géopolitique !

Un quatrième article s'attachera à illustrer la démarche par un exemple de rénovation énergétique d'une maison individuelle.