

# Energies renouvelables et bâtiment :

## Etat des lieux

*La production d'énergie par des sources renouvelables constitue l'une des voies privilégiées en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre le changement climatique. Elle ne doit toutefois intervenir qu'en complément d'une réduction des besoins énergétiques associée à l'utilisation de matériels et/ou matériaux performants. Petit tour d'horizon des pratiques actuelles en France*

**Damien LAMBERT,**  
**David CHENIER,**  
**Jonathan LOUIS,**  
**Paul LIRET,**  
**Amoès**

⇒ Le Conseil Européen a annoncé en 2007 un objectif de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en Europe à l'horizon 2020. Fin 2006 la France se situait au 13<sup>ème</sup> rang européen avec 6,33 % d'énergies renouvelables dans sa consommation d'énergie finale. Pour atteindre ces objectifs, chaque citoyen doit ajouter sa pierre à l'édifice.

Dans ce cadre, nous allons présenter un état des lieux des pratiques les plus courantes en France, de leurs avantages, de leurs potentiels et de leurs impacts sur la réduction de gaz à effet de serre. Avant tout, il faut comprendre une chose essentielle : la production d'énergie par des sources renouvelables ne doit intervenir qu'en complément d'un réel plan de réduction des besoins énergétiques associé à l'utilisation de matériels et/ou matériaux performants. Ce concept est la base du scénario Négawatt<sup>(1)</sup> (sobriété, efficacité, énergie renouvelable). L'objectif actuel dans le secteur du bâtiment est de diminuer les consommations d'énergie, drastiquement. Les économies d'énergies sont le premier pas vers une réduction massive des émissions de gaz à effet de

serre, responsables du réchauffement climatique. C'est la base. Ensuite, la deuxième chose importante est la mise en place d'équipements performants (VMC double flux, chaudière à condensation...) pour limiter la dépense énergétique liée aux besoins résiduels. Le recours aux énergies renouvelables constitue la troisième étape. Elles interviennent en dernier car il est plus intéressant de consommer moins que d'installer des équipements qui, certes produisent de l'énergie « gratuite » mais représentent un investissement important surtout dans un bâtiment énergivore.

### L'énergie solaire pour l'eau chaude sanitaire (ECS)

L'énergie solaire est en France de plus en plus prisée. La barre des 20 millions de m<sup>2</sup> a été franchie fin 2006 en Europe et le marché français est en plein essor depuis 5 ans. Les produits proposés par les fabricants sont de plus en plus performants et permettent couramment

de couvrir jusqu'à 60 % de besoins annuels en eau chaude sanitaire d'une famille de 4 personnes.

Le principe est simple et désormais éprouvé : un fluide (eau + antigel) circule dans un capteur solaire, dont l'orientation et l'inclinaison par rapport au soleil sont optimisées. Ce fluide, une fois réchauffé, échange ses calories avec l'eau d'un chauffe-eau solaire au travers d'un échangeur. Un système d'appoint assure le complément de chaleur les jours sans soleil.

Pour répondre à environ 40 % à 60 % des besoins annuels de l'eau chaude sanitaire, il faut compter pour une maison individuelle généralement 1 m<sup>2</sup> et 50 L par personne pour dimensionner la surface de capteurs et le volume du ballon solaire à installer. Pour des logements collectifs, il faut en moyenne 1,5 à 2 m<sup>2</sup> par logement de 4 personnes. Il faut cependant ne pas surdimensionner la surface de capteurs à installer car cela pourrait provoquer des surchauffes en été qui endommageraient le matériel.

De plus, les organes d'une installation de production d'ECS solaire doivent être minutieusement isolés afin de limiter



...

au maximum les pertes dans les réseaux. Pertes qui peuvent largement dépasser la production solaire de l'installation ! Cela veut dire regrouper au maximum les points de puisage (difficile en rénovation bien sûr) pour limiter la longueur des réseaux, et surisoler les tuyaux ainsi que les organes de l'installation. Les déperditions de la distribution d'ECS ne doivent guère dépasser 5 à 7W par mètre de tuyau. Cette action s'inscrit dans la démarche de réduction des besoins, préalable à l'utilisation d'énergie renouvelable.

Sur le plan financier, l'installation d'un chauffe-eau solaire bénéficie d'aides financières de l'Etat, des Régions et parfois des collectivités locales, variables en fonction du lieu d'habitation. La TVA est de 5,5 % sur le prix total de l'installation et un crédit d'impôt de 50 % sur le prix du matériel est accordé depuis plusieurs années aux particuliers.

Le chauffe-eau solaire individuel (CESI) est donc une solution pertinente pour faire des économies d'énergie, et pas uniquement sur la Côte d'Azur. Dans le

nord de la France on peut tout aussi bien installer un CESI malgré une légère baisse de la couverture des besoins de votre logement.

D'un point de vue environnemental, le potentiel de réduction de gaz à effet de serre engendré par l'installation d'un CESI peut atteindre 60 % dans le cas le plus favorable (avec des disparités en fonction de l'énergie utilisée auparavant pour cet usage).

#### **Exemple de réalisation dans une crèche à Rennes**

L'Ademe Bretagne a soutenu en 1993 une installation solaire de chauffage et eau chaude sanitaire dans une crèche rennaise. Première réalisation de cette envergure dans la région, elle permet de mettre en évidence la maturité technique de ce type d'installation.

La crèche comprend 4 unités de 16 enfants, pour une surface au sol de 900 m<sup>2</sup> et un volume de 2 500 m<sup>3</sup>. Elle est implantée dans un quartier équipé d'un réseau de

chauffage central collectif, qui a été choisi comme appoint au solaire. Le réseau assure une distribution de l'eau chaude à 55 °C et alimente les radiateurs qui complètent le chauffage par le sol.

Le taux de couverture solaire pour le chauffage avoisine aujourd'hui les 40 % (32 000 kWh/an).

L'eau chaude sanitaire est produite à 100 % par l'installation solaire du mois de mai au mois de septembre.

On comprend donc bien l'intérêt économique et environnemental indéniable que procure l'usage du solaire thermique.

#### **La biomasse pour le chauffage, un retour au naturel !**

L'utilisation du bois pour le chauffage remonte à la préhistoire. C'est le combustible le plus économique mais qui, dans certaines conditions peut avoir un effet néfaste sur l'environnement.

...

# Biennale DD



...

C'est pourquoi il est important d'utiliser des appareils de combustion performants pour limiter les émissions polluantes liées à la combustion du bois. D'où la condition pour les particuliers d'un rendement supérieur à 65 % pour obtenir le crédit d'impôt sur le matériel.

Il faut savoir que la biomasse est une source d'énergie compétitive et sous-exploitée dans notre pays avec des forêts en expansion et une gestion durable des ressources forestières. La structuration du secteur du combustible bois, orchestrée par l'Ademe<sup>(2)</sup>, avec différents labels (Flamme verte,...), le plan Bois-Energie et l'Itebe<sup>(3)</sup> s'organise rapidement car les ventes d'appareils de combustion ont explosé depuis 3 ans. On distingue plusieurs types d'appareils et de combustibles :

— les poêles à bûches ont un succès important grâce à leur sécurité et à l'agrément qu'apporte la vision du feu dans un salon ;

— les poêles à granulés ont le vent en poupe depuis quelques années. Leur simplicité d'utilisation, leur fonctionnement souple et autonome leur promet un bel avenir chez les citoyens. Leurs principaux inconvénients sont leur fonctionnement électrique qui engendre, sur certains modèles, un bruit important. Leur atout majeur est en revanche la performance énergétique de ce combustible, le plus efficace sur le marché de la biomasse (2 kg de granulés équivalent à 1 L de fioul). Les granulés, à base de sciure séchée et compressée, se présentent sous forme de sac de 10 à 15 kg ou en vrac pour les chaudières.

Attention, cependant, à la régulation de la température de consigne des poêles ! Sur les appareils à bûches on ne peut pas la contrôler ; sur ceux à granulés, la combustion peut être mieux gérée, mais il reste le problème de la régulation zone par zone : s'il y a des apports solaires ou internes importants dans l'une des pièces, ils ne seront pas récupérés par le bâtiment et généreront des surchauffes.

Avec les chaudières automatiques à bois, la régulation est plus aisée via les radiateurs. Elles représentent une bonne alternative grâce à l'utilisation de rémanents forestiers, de déchets de l'industrie du bois et de granulés. L'alimentation automatique de la chaudière nécessite la présence d'un silo de stockage pour le combustible ce

qui peut être rédhibitoire. En revanche, le principal avantage de ces systèmes est l'automatisation complète du chauffage et le faible coût du combustible.

Le prix d'un poêle à bois varie de 600 à 3 000 € et l'acheteur particulier peut bénéficier d'un crédit d'impôt de 50 % à condition que l'appareil ait un rendement supérieur à 65 %. Les poêles à granulés (ou pellets) coûtent entre 1 500 et 4 000 €, et sont donc globalement plus cher que les poêles à bois.

Il faut compter entre 4 500 et 12 000 € pour une chaudière automatique à bois (combustible plaquettes ou granulés) pour répondre à la puissance thermique d'une maison.

Notons que la combustion du bois est neutre en CO<sub>2</sub> car ce qui est émis lors de la combustion est absorbé par les arbres durant leur croissance grâce à la photosynthèse.

## La micro-cogénération à bois, une nouvelle voie ?

La micro-cogénération à bois ([www.microcogeneration.info](http://www.microcogeneration.info)) est une innovation venue d'Allemagne et d'Autriche, pays pionniers dans le développement des énergies renouvelables. Le principe est simple, une chaudière à granulés de bois chauffe la maison, et en parallèle fait tourner un moteur pour produire de l'électricité. Le système de chauffage central n'utilisant pas toutes les calories produites instantanément par la chaudière, l'idée est de faire tourner un moteur à combustion externe grâce à ce surplus de chaleur. L'électricité ainsi produite est revendue à EDF ou autoconsommée, au même titre que l'électricité photovoltaïque, mais avec un tarif d'achat spécifique. Cette technique est applicable pour le résidentiel, le petit collectif et tertiaire (maisons de retraite,...).

Le faible tarif de rachat en France de l'électricité produite à partir de biomasse est un frein aujourd'hui au développement de ce type de technologie. Pour assurer sa dissémination, il faudrait comme en Allemagne avoir un tarif de rachat spécifique pour la micro-cogénération à bois entre 18 et 25 c€/kwh.

Comme les chaudières bois, le bilan carbone est très bon puisque le CO<sub>2</sub> émis

par la combustion du bois est compensé par celui absorbé par ces mêmes arbres durant leur croissance. En outre, on produit de l'électricité en répondant au besoin de chauffage, c'est-à-dire en période de pointe et on évite donc la production d'électricité par le parc national (centrale à gaz, charbon,...), qui ont un rendement de l'ordre de 30 %.

## Le solaire photovoltaïque, une centrale électrique à la maison !

Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur comme on vient de le voir, mais aussi en électricité pour être revendu à EDF à un prix très avantageux. C'est le rôle d'une deuxième catégorie de panneaux solaires : les panneaux photovoltaïques. Le rayonnement solaire est transformé en courant continu par les cellules photovoltaïques, puis en courant alternatif par l'onduleur, et est injecté directement sur le réseau EDF.

Le marché français est en plein boom grâce à un tarif d'achat de l'électricité intéressant après avoir longtemps été un frein au développement de cette technologie. Cependant, l'Allemagne, qui a une politique incitative depuis plusieurs années, reste le leader européen avec 89 % du photovoltaïque installé fin 2006 en Europe<sup>(4)</sup> !

L'énergie nécessaire à la fabrication de ces panneaux est importante du fait de nombreux traitements thermiques et chimiques nécessaires pour transformer une fine couche de silicium en un semi-conducteur polarisé. Cependant, on estime que l'énergie produite permet en quelques années (3 à 5 ans) seulement de « compenser », ce qu'on appelle « l'énergie grise ». A partir de ce moment, toute l'énergie produite est de la pure énergie verte et gratuite !

Ces produits sont encore difficiles à recycler. Les plus puristes diront que cet aspect est rédhibitoire mais il faut bien comprendre qu'au niveau mondial, le silicium est devenu un produit « précieux » et de nombreuses pistes sont aujourd'hui explorées pour recycler et réutiliser le silicium issu des panneaux photovoltaïques en fin de vie. En tenant compte de la durée de vie de

...



Source : Amos



L'électricité photovoltaïque ne contient que 15 g de carbone par kWh, contre 23g/kWh pour la moyenne de l'électricité produite en France.

...  
ces appareils, il ne fait aucun doute qu'une solution satisfaisante sera au point avant que les panneaux installés suite à la lecture de cet article ne soient en fin de vie !

Le prix du m<sup>2</sup> installé varie en France de 1 000 à 1 200 € ce qui représente un investissement non négligeable. Mais il faut voir qu'au-delà de ce chiffre, le contrat de rachat est négocié sur 20 ans

avec EDF au prix de 57,187 ¢/kWh lorsque les capteurs assurent une fonction d'étanchéité pour le bâti (31,193¢/kWh sinon). A ce tarif, revu à la hausse début 2008, le temps de retour sur investissement ne dépasse guère 10 ans. De plus, avec une durée de vie minimum de 25 ans, les panneaux assurent un revenu mensuel vraiment intéressant. Il faut cependant compter 1 % du prix d'investissement en maintenance annuelle (les onduleurs sont encore le point faible des installations). Malgré cela, cette technologie reste très fiable et le rendement des panneaux est en constante augmentation.

Lors de l'installation, les particuliers bénéficient d'un crédit d'impôt de 50 % sur le prix du matériel, de la TVA à 5,5 % et d'une subvention régionale variable<sup>(5)</sup> pouvant atteindre 1 €/Wc installé, soit 3000 € pour une installation domestique de 3 kWc ! Il faut en outre demander un droit de raccordement et d'accès au réseau à EDF et déclarer son installation auprès des autorités compétentes, tâches pour lesquelles votre installateur et/ou votre conseiller info énergie sont à ...

# Clarke



... même de vous aider.

Sur le plan énergétique, un rapport de l'Ademe indique que l'électricité circulant sur le réseau français contient 23 grammes équivalent carbone par kWh (grâce à la prépondérance de l'énergie nucléaire) alors que l'électricité photovoltaïque ne contient que 15 g eqC/kWh soit une diminution de 35 % ce qui est tout à fait louable.

Exemple de réalisation en région parisienne : à l'initiative du CLER (Comité de liaison des énergies renouvelables), qui occupe des bureaux situés au 4<sup>e</sup> étage d'un bâtiment, l'OP-HLM de Montreuil (93) a installé 220 m<sup>2</sup> de panneaux solaires photovoltaïques. Ils fournissent 22,5 MWh par an, soit l'équivalent de la consommation électrique annuelle de plus de 6 familles (hors chauffage et eau chaude). Cette démarche a pu être initiée grâce à la sollicitation de Greenpeace dans le cadre de sa campagne « Branchez-vous soleil » (Source : CLER - [www.cler.org](http://www.cler.org)).

## Les pompes à chaleur, une alternative intéressante

Le principe de fonctionnement de la pompe à chaleur (PAC) est le même que celui du réfrigérateur mais à la différence près que les sources chaudes et froides sont inversées. Avec une pompe à chaleur on extrait la chaleur d'une source chaude (sol, air extérieur ou nappe phréatique) pour la transférer à une source froide (maison). Le principal atout des PAC est leur coefficient de performance (COP) supérieur à 1. En effet avec une consommation électrique de 1 kWh, la PAC peut produire entre 1,5 et 6 kWh de chaleur.

Le COP varie donc entre 1,5 et 6 selon les appareils et la différence de température entre les deux sources de chaleur.

Attention toutefois, la performance d'une PAC est principalement liée à l'écart de température entre les deux sources, chaude et froide. Cet écart de température doit être le plus réduit possible, en moyenne sur la saison d'utilisation de l'équipement.

On distingue plusieurs types de PAC :

— les PAC type air/air (ou aérothermiques) fonctionnant sur l'air extérieur : elles puisent leurs calories sur l'air extérieur pour ensuite chauffer la maison par air soufflé. L'avantage de ce système est l'absence de plomberie ce qui permet une installation rapide relativement facile et donc peu onéreuse. Elles ont actuellement un grand succès pour des travaux de rénovation. Il faut cependant noter que le COP moyen de ces appareils diminue fortement (inférieur à 2,5 soit une baisse pouvant atteindre 30 %) lorsque l'écart de température entre les deux sources de chaleur augmente (pic hivernal). Ces appareils ne représentent donc pas la meilleure solution en terme de bilan énergétique.

— les PAC air/air fonctionnant sur l'air extrait sont bien meilleures. Cette fois la source de chaleur n'est plus l'air extérieur, mais l'air extrait de la ventilation. Ce système ne peut être mis en place qu'avec une ventilation double-flux, et peut être couplé ou non à un échangeur de chaleur. La présence de cet échangeur augmentera globalement les performances du système, même si le COP de la PAC sera légèrement dégradé. Cette disposition a l'avantage de conférer à la PAC des performances élevées relativement constantes dans le temps. Ce système ne peut en revanche être mis en place que

sur des bâtiments à faibles besoins de chauffage... La difficulté de ce système réside dans la régulation zone par zone des pièces chauffées. En effet, l'air chaud est produit au niveau de la PAC à une certaine température, puis diffusé dans les différentes pièces au débit hygiénique. Suivant le mode de régulation on a alors soit des surchauffes, lorsque une pièce dispose d'apports (solaires et/ou internes) conséquents et que l'air soufflé n'est pas utile pour amener la pièce à la température de consigne, soit la consommation d'une résistance électrique terminale, lorsque les déperditions d'une pièce ne peuvent être localement compensées par l'air chaud.

— les PAC air/eau sont adaptées pour la rénovation lorsque le chauffage se fait par réseau de distribution, ou en neuf avec un plancher chauffant basse température. En rénovation la PAC devient le système de chauffage principal et la chaudière ne démarre que lorsque la PAC ne peut fournir l'énergie nécessaire (pic hivernal). En neuf, associée à un plancher chauffant basse température, on obtient des rendements satisfaisants. De plus les planchers chauffants évitent la stratification de l'air dans les pièces et procurent une chaleur douce et agréable. Elles ont cependant le même inconvénient que les PAC air/air.

— les PAC eau/eau sont utilisées en neuf principalement. C'est ce que l'on appelle la « géothermie » qui peut être en surface ou profonde. Un réseau de tuyaux<sup>(6)</sup> est enterré à une profondeur de 50 cm à 1 m et sert de source chaude à la PAC. C'est avec ce système qu'on obtient les meilleurs rendements car la température du sol étant relativement constante sur l'année, le COP varie peu. Il faut cependant que la qualité du sol soit propice. Ce système

...



...

peut être considéré comme renouvelable dans le sens où l'énergie extraite du sol est renouvelée puisque principalement apportée par le soleil. En effet, à des profondeurs aussi faibles, on considère que c'est le soleil qui chauffe le sol. Dans la mesure du possible, il faut toujours privilégier ce système qui a le meilleur bilan global.

Entre 2005 et 2006 le nombre de PAC installées en France a augmenté de 30 % grâce au crédit d'impôt de 50 % sur le matériel accordé aux particuliers (si le COP est supérieur à 3).

Par ailleurs, comme pour toutes les autres technologies citées ici, l'installation du matériel doit absolument être confiée à un installateur certifié. Pour les PAC, le label QualiPAC a été mis en place. Le raccordement, en particulier, doit être réalisé minutieusement pour éviter toute fuite de fluide frigorigène, dont le pouvoir de réchauffement global est jusqu'à 16 000 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>.

L'Ademe réalise des suivis d'installation de PAC chez les particuliers de façon à évaluer les performances de ces systèmes en situation réelle. Un exemple standard est celui d'une maison individuelle de 175 m<sup>2</sup> située à Vaugneray (Rhône) et construite en 2002. Cette habitation est chauffée par une PAC eau glycolée/eau de 10,6 kWth (puissance thermique) utilisant deux sondes géothermiques de 80 m de profondeur alimentant un plancher chauffant –rafraîchissant. Sur la période de suivi, d'octobre 2003 à septembre 2004, le COP moyen annuel mesuré a été de 3,1 (COP annoncé 3,8) et le coût du chauffage de seulement 2,1 € HT/m<sup>2</sup>, correspondant à une énergie électrique

consommée pour le chauffage de 32 kWh/m<sup>2</sup>. Ce coût est très faible par rapport aux valeurs rencontrées usuellement pour d'autres modes de chauffage. L'appoint électrique a représenté moins de 0,5 % de la consommation totale de chauffage. Sur cette année de mesure, le CO<sub>2</sub> évité par rapport à un système de chauffage par chaudière gaz a été de 2,7 tonnes. Ces valeurs sont représentatives de PAC installées dans de l'habitat neuf. Dans le cas de rénovation, on rencontre habituellement des COP moyens annuels de 2,5 à 2,6. (Source Ademe)

Il faut donc retenir que les technologies eau/eau et sur l'air extrait sont les plus performantes mais elles sont également les plus contraignantes. Il est donc préférable de les privilégier en construction neuve car les contraintes peuvent être supprimées par une bonne conception du bâtiment. Dans le cas d'une rénovation, on préférera une chaudière performante.

## Quel avenir pour les énergies renouvelables ?

Le potentiel de développement des énergies renouvelables telles que celles présentées ici est énorme dans notre pays où beaucoup reste encore à faire. La démarche doit être de réduire les besoins énergétiques du bâtiment puis produire de l'énergie avec des énergies renouvelables. L'urgence environnementale ne nous permet plus aujourd'hui d'attendre l'émergence de nouvelles technologies pour produire de l'énergie verte.

Les conclusions que l'on peut tirer sont :  
— poursuivre les efforts de R&D dans les secteurs de la production d'énergie ;

— accentuer la politique incitative par des aides financières et des tarifs d'achat de l'énergie verte intéressants pour soutenir le développement actuel ;

— soutenir les organismes de contrôle et de certification pour structurer les différents marchés ;

— accentuer rapidement la formation des jeunes à tous les niveaux d'études pour former des cadres compétents et les artisans qualifiés dont on manque cruellement aujourd'hui ;

- mettre en place une politique de sensibilisation percutante au même titre que celle pour la prévention routière ou contre le tabagisme.

Nous devons faire ensemble de l'Europe le leader mondial de la lutte contre le changement climatique. Si elle montre l'exemple, nous pourrions faire légitimement pression sur le reste du monde, pour limiter le réchauffement climatique à 2 °C avant la fin du siècle, seuil au-delà duquel le GIEC considère que l'humanité pourrait faire face à une crise sans précédent. ■

### Notes :

1. Plus d'informations sur le site [www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)
2. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
3. Institut des bio-énergies.
4. Source Eurobserv'er.
5. Renseignements auprès de l'Ademe des espaces info-énergie régionaux ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)). Une deuxième solution est de faire des forages profonds dans lesquels on insère des sondes de captage.

### Aller plus loin :

AMOES, L'énergie Positive :  
[www.amoes.com](http://www.amoes.com) ;  
[www.energiepositive.info](http://www.energiepositive.info).



Suivez l'information AMOES, inscrivez-vous à la newsletter sur [contact@amos.com](mailto:contact@amos.com)

[www.amoes.com](http://www.amoes.com)  
<http://blog.amoes.com>

AMOES contribue au développement des bâtiments à énergie positive en :

- Réduisant leurs consommations énergétiques
- Produisant localement de l'énergie verte

> Les missions d'AMOES



**AMOES**  
Ecole Centrale Paris Grande Voie des Vignes  
92295 Châtenay Malabry  
Téléphone : 01 41 13 18 23

**Simulation thermique dynamique sous TRNSYS**  
**AMO Energie Label BBC**