

Vers des bâtiments à énergie positive

Avec l'entrée dans les faits du Grenelle de l'environnement, les bâtiments devraient passer progressivement de leur statut de premiers consommateurs d'énergie à celui de producteurs. Les enjeux techniques économiques et sociaux de ce changement de paradigme sont considérables.

par **Jean Christophe VISIER***

LE BÂTIMENT, PREMIER CONSOMMATEUR D'ÉNERGIE

42 % de l'énergie consommée en France est utilisée dans le bâtiment, qui contribue pour près de 23 % aux émissions de gaz à effet de serre. Le bâtiment est, de loin, le premier secteur consommateur, d'énergie.

En matière de politique énergétique, le bâtiment a été considéré comme un gros consommateur, auquel il fallait être capable de fournir l'énergie dont il avait besoin pour fonctionner. Les efforts de recherche ont été massivement ciblés sur la production, plutôt que sur l'utilisation de l'énergie.

LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE, LE STANDARD DE L'ANNÉE 2020

Aujourd'hui, les contraintes énergétiques et environnementales nous conduisent à chercher des solutions innovantes qui transformeront ces contraintes en opportunités.

Le bâtiment à énergie positive est l'illustration concrète de ces opportunités. C'est un bâtiment qui est capable, au cours d'une année, de produire autant d'énergie qu'il en consomme. Le changement est profond, puisque l'on passe d'un bâtiment consommateur à un bâtiment à la fois consommateur et producteur d'énergie.

L'idée qu'il est possible de réaliser des bâtiments à énergie positive et de les généraliser a fait des progrès fulgu-

rants. Début 2005, on en est aux articles de prospective (1). En 2007, le Grenelle de l'environnement fixe pour objectif leur généralisation (2). Les bâtiments à énergie positive, dont les premiers exemples sont construits en France aujourd'hui (3), seront le standard de la construction neuve, d'ici 2020. Cette vision ambitieuse est très proche de celle retenue notamment par le Royaume-Uni, ou encore de la vision stratégique du *Department of Energy*, aux Etats-Unis.

LES CLÉS D'UN BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE (4)

Un bâtiment à énergie positive est d'abord un bâtiment très efficace du point de vue énergétique, qui va consommer de 2 à 4 fois moins d'énergie qu'un bâtiment neuf actuel.

* Directeur énergie santé environnement, Centre scientifique et technique du bâtiment
Mail : Jean-christophe.visier@cstb.fr

(1) A. Maugard, D. Quenard, J.C. Visier, Le bâtiment à énergie positive, *Futuribles*, revue d'analyse et de prospective, n° 304, janvier 2005.

(2) http://www.legrenelle-environnement.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/Fiche_1.pdf

(3) Ecole : <http://www.limeil-brevannes.fr/dossiers/index.php?2007/04/18/14-ecole>,
maison : <http://www.cythelia.fr/lamaisonzen/accueil.html>,
bureau : http://www.bouygues-immobilier.com/jahia/Jahia/aboutus/espace_de_presse/pid/2407

(4) Une illustration des techniques
<http://www.cstb.fr/frame.asp?URL=bepos/animations.asp>

Les labels existants (5) en Allemagne, en Suisse et en Autriche ont déjà conduit à la réalisation de plusieurs milliers de bâtiments suivant ces principes. Le label Bâtiment Basse Consommation – Effinergie, lancé en France en 2007, vise les mêmes objectifs. Le Grenelle de l'environnement prévoit d'imposer, dès 2012, à tous les bâtiments neufs d'atteindre ce premier niveau.

Diverses technologies sont disponibles à cette fin : architecture bioclimatique, sur-isolation des parois, doubles vitrages revêtus de couches peu émissives ou triples vitrages, systèmes de ventilation récupérant la chaleur et faisant varier les débits d'air en fonction des besoins, pompes à chaleur, systèmes de gestion de l'énergie, chauffe-eau solaire... Un premier guide, réalisé par l'association Effinergie (6) à l'usage des professionnels, illustre la diversité des solutions utilisables dès aujourd'hui pour atteindre ce premier objectif.

Un bâtiment à énergie positive, c'est ensuite un bâtiment qui va capter de l'énergie, en particulier de l'énergie solaire, pour satisfaire les besoins de ses occupants. Un des enjeux technologiques majeurs est la généralisation du solaire photovoltaïque, dont les coûts baissent rapidement et qui permet de produire localement l'électricité nécessaire au bâtiment.

Des actions fortes allant dans ce sens ont été menées par des pays comme l'Espagne (en matière de solaire thermique) ou le Japon et les Etats-Unis (en matière de solaire photovoltaïque). Plusieurs dizaines de milliers de bâtiments équipés de toitures photovoltaïques ont ainsi été construits au Japon. Le marché décolle aujourd'hui en Allemagne et en Espagne, tandis qu'il démarre en France. L'association de solutions testées plutôt dans des pays froids (Allemagne, Suisse, Autriche) en matière de réduction des besoins en énergie et de solutions testées dans des pays ensoleillés (Japon) en ce qui concerne la production d'énergie nous conduit vers les bâtiments à énergie positive.

DES OPPORTUNITÉS VARIÉES

Le développement, puis la généralisation, des bâtiments à énergie positive ouvre un éventail de possibilités de développement économique. Quatre axes sont particulièrement importants :

- Le développement de nouveaux produits. Un bâtiment à énergie positive nécessite l'assemblage cohérent d'un ensemble de technologies. Ceci conduit des concepteurs de bâtiments et de grands industriels à travailler conjointement à l'émergence de ces nouveaux assemblages (7) ;
- Le développement de nouveaux services. La conception, puis l'exploitation, de ces bâtiments nécessitent de nouvelles compétences. Ceci conduit à la mise en place de nouvelles offres, portant non plus seulement sur la distribution d'énergie, mais sur la distribution de solutions associant économies, production locale et distribution d'énergie ;

- De nouvelles approches financières. Le bâtiment consommateur va devenir un bâtiment producteur, ce qui pose de manière totalement renouvelée la question du financement. Des organisations innovantes impliquant banques, industriels et grandes entreprises de construction se développent (8) ;

- La recherche et développement. L'innovation technique, financière, organisationnelle sera une des clés de la réussite des bâtiments à énergie positive. Entre les premiers bâtiments en cours d'émergence et ceux qui deviendront le standard de 2020, la recherche et développement a un rôle clé à jouer (9).

Cet article est focalisé sur l'illustration des travaux autour des produits, de leur mise en œuvre, ainsi que des besoins en R & D associés.

DES ISOLANTS ISSUS DES LABORATOIRES, OU DU MONDE AGRICOLE ?

L'isolation de la trentaine de millions de bâtiments existants est un défi considérable. On dispose aujourd'hui de techniques d'isolation très bien adaptées aux bâtiments neufs, mais qui ne répondent que d'une manière très imparfaite à la grande diversité des bâtiments existants. Pour les bâtiments de forme simple, tels les grands immeubles collectifs, la solution consiste souvent à recréer une peau extérieure, qui va permettre de faire vivre des façades tristes, tout en intégrant des isolants traditionnels en forte épaisseur. C'est la technique de l'isolation par l'extérieur. Cette technique s'adapte mal à des bâtiments dont la façade est plus complexe, plus originale ou située en limite de parcelle. On imagine mal, par exemple, de revêtir d'une telle peau extérieure la façade des bâtiments haussmanniens. La solution consiste alors à isoler le bâtiment en partant de l'intérieur. Une des difficultés importantes est alors la perte de surface habitable, si l'on veut installer un isolant traditionnel d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur, ce qui devient chose courante dans des bâtiments à basse consommation énergétique. Dans une maison de 100 m², on peut perdre jusqu'à 6 m² de surface habitable, ce qui est parfois difficilement acceptable. Les travaux de recherche et de développement visent à mettre

(5) Label allemand www.passivhaus.de, label suisse www.minergie.ch, label français bbc/effinergie www.effinergie.org

(6) Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie, guide publié par l'association Effinergie, téléchargeable à www.effinergie.org

(7) Deux exemples : maison individuelle <http://www.la-bonne-maison.com>, tour environnementale http://www.lafarge.fr/lafarge/CONTENT_SHEET/20060308/03072006-group-hypergreen_bilanguage-fr.wmv

(8) <http://www.gimelec.fr/Content/Default.asp?PageID=205>

(9) Une fondation de recherche <http://www.batiment-energie.org/>
Des projets ambitieux <http://www.schneider-electric.com/sites/corporate/fr/presse/dossiers/projet-homes.page>

au point des isolants nanostructurés comportant des cellules de taille inférieure au libre parcours moyen de l'air, ce qui a pour effet de réduire considérablement les pertes de chaleur. Les premières applications de ces nouveaux matériaux dans la rénovation sont en train d'apparaître.

Une autre voie forte d'innovation en matière d'isolation porte, non plus sur l'utilisation de matériaux très technologiques issus des laboratoires (tels que les isolants nanostructurés), mais sur celle de produits de l'agriculture ou de matériaux issus de filières de recyclage. Isolants en chanvre, en ouate de cellulose (issue du recyclage du papier), en laine de mouton, en plumes de canard, en fibre de bois, murs en paille... La

diversité de ces produits, issus généralement de filières locales, illustre le renouveau du recours aux ressources locales dans une industrie qui s'est fortement internationalisée au cours des décennies précédentes.

Une des conditions essentielles pour permettre un choix entre ces matériaux, est de fournir aux prescripteurs et aux consommateurs des informations objectives sur leurs performances et, notamment, sur leurs qualités environnementales. Une base de données a été mise en place à cette fin ; elle préfigure ce que pourrait être un étiquetage environnemental et sanitaire obligatoire pour tous les produits de construction (10).

VENTILATION : DE L'OUVERTURE DES FENÊTRES À LA DESTRUCTION DES VIRUS

Les systèmes de ventilation visent à obtenir dans les bâtiments un air de bonne qualité sanitaire, en éva-



© Pierre Gleizes/REA

La Bonne Maison, première maison de France label EFFINERGIE.

quant l'humidité et les différents polluants produits tant par les activités des occupants que par les matériaux présents dans les bâtiments. Comme l'air à l'intérieur des bâtiments est plus pollué que l'air extérieur (11), la solution traditionnelle consiste à remplacer cet air pollué par de l'air extérieur plus propre. Il suffit alors d'augmenter la vitesse à laquelle on renouvelle l'air pour en améliorer la qualité.

Des parois peu étanches, complétées par des fenêtres ouvertes régulièrement, ont, pendant des siècles, constitué le système de ventilation des bâtiments. Depuis la première crise de l'énergie, une première étape a vu d'abord se développer des systèmes de ventilation mécanique contrôlés, visant à maîtriser ce renouvellement d'air et à le rendre, par exemple, indépendant de la vitesse du vent extérieur.

La seconde étape a consisté à intégrer dans le système de ventilation des systèmes de régulation automatique. Basés sur la mesure de l'humidité dans les logements ou sur la mesure du CO₂ émis par les occupants dans les bureaux ou les écoles, ces systèmes adaptent les débits de ventilation à la pollution de l'air intérieur. Les industriels français ont développé en particulier des systèmes peu coûteux, qui modulent le débit d'air en fonction de l'humidité des logements. Ces systèmes, dits hygroréglables, sont en train de devenir le standard dans les bâtiments neufs, rendant obsolètes les systèmes de ventilation dépourvus de régulation.

(10) Base de donnée sur l'impact environnemental et sanitaire des produits de construction www.inies.org

(11) Travaux de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur www.air-interieur.org

La troisième étape qui est en cours pour réduire les consommations d'énergie, vise à récupérer de la chaleur dans l'air sortant du bâtiment pour réchauffer celui qui y rentre. Il y a là une source de gain majeure, puisque l'on peut envisager de récupérer de l'ordre de 80 % de l'énergie de ventilation.

L'étape suivante, en cours de développement dans les laboratoires de recherche, vise à mettre en place des traitements de l'air permettant, non plus de remplacer l'air pollué par un air plus propre, mais de s'attaquer directement aux produits polluants en les captant ou en les inactivant (ainsi, des travaux de recherche visent, par exemple, à détruire certains virus aéroportés via le système de traitement de l'air).

DES SYSTÈMES DE PRODUCTION DE CHALEUR À L'ORÉE D'UNE RÉVOLUTION

Trois grandes techniques assurent la production de chaleur pour le chauffage des bâtiments actuels : la chaudière au gaz, la chaudière au fioul, le chauffage électrique par effet Joule. Après des décennies d'évolution, ces trois techniques arrivent au bout de leurs capacités de progrès, ouvrant le champ à des techniques nouvelles.

Les chaudières gaz et fioul ont vu leur rendement augmenter très fortement. Avec l'avènement des chaudières à condensation, qui récupèrent la quasi-totalité de l'énergie perdue dans les fumées, on arrive à la dernière étape de progrès en matière de performance thermique de ces techniques.

Les voies actuelles de recherche portent sur la possibilité de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. L'objectif est d'arriver à un rendement total chaleur+électricité meilleur que celui que l'on peut obtenir dans une centrale de production électrique, du fait de la possibilité de valoriser simultanément l'électricité et la chaleur produite. Les systèmes de cogénération, qui se sont fortement développés dans certains pays étrangers, peuvent être la voie permettant de dépasser les limites intrinsèques des chaudières à condensation.

Le chauffage électrique par effet Joule (échauffement d'une résistance parcourue par un courant électrique) a pris une place dominante dans le chauffage des logements neufs. Convecteurs électriques, panneaux rayonnants, planchers chauffants, plafonds chauffants... : ces systèmes de chauffage utilisent tous l'effet Joule pour transformer l'électricité en chaleur. Le rendement de transformation de l'électricité en chaleur étant dès l'origine de 1, les progrès ont porté sur le développement de systèmes de gestion performants permettant de fournir la chaleur nécessaire au confort des habitants, juste au moment et à l'endroit voulus. On est ainsi passé du « grille-pain » des années 70, bruyant, mal régulé et envoyant des trains de chaleur inconfortables, à des systèmes silencieux, bien gérés et

confortables... mais qui n'offrent plus guère de potentiel de progrès.

Suivant l'exemple de la Suède, qui utilise très fortement l'électricité pour le chauffage, la France voit se développer aujourd'hui un marché très important pour les pompes à chaleur. Celles-ci permettent de valoriser le potentiel de l'électricité de manière beaucoup plus efficace et intelligente qu'en la transformant en chaleur. Grâce aux pompes à chaleur, un kWh d'électricité peut permettre de disposer de 3 à 6 kWh de chaleur, 2 à 5 de ces kWh étant prélevés dans le milieu extérieur. Si l'on associe ainsi une centrale électrique, d'un rendement de l'ordre de 35 %, à des pompes à chaleur situées dans les bâtiments, on peut arriver à produire au total 1,05 à 2,1 kWh de chaleur dans les bâtiments pour chaque kWh de chaleur produit par la centrale. La chaleur, non valorisée (par exemple) au niveau d'une centrale nucléaire et envoyée dans l'environnement, étant plus que compensée par la chaleur prélevée dans l'environnement par la pompe à chaleur.

La pompe à chaleur apparaît alors comme un des moyens essentiels de progrès en matière de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Sa généralisation permettrait notamment d'exploiter très efficacement cette énergie très noble qu'est l'électricité. Cette généralisation constitue un enjeu industriel considérable pour l'industrie française, qui peut, si elle en saisit l'opportunité, s'appuyer sur un marché intérieur en très fort développement, pour prendre une place sur un marché sur lequel l'industrie japonaise est aujourd'hui très présente.

FAIRE DISPARAÎTRE LES APPAREILS ÉLECTRIQUES PEU COÛTEUX MAIS SUR-CONSOMMATEURS

Ces quelques exemples de progrès technologiques en cours doivent être associés à la résolution de quelques problèmes récurrents auxquels il n'a pas été apporté suffisamment d'attention jusqu'à ce jour.

La compétition entre industriels a conduit, pour plusieurs familles de produits utilisant l'électricité, à viser la baisse des prix de vente, plutôt que l'augmentation de la performance. Cela se traduit par la non-exploitation de potentiels importants d'économies d'énergie, dont le temps de retour serait de quelques dizaines de mois.

La paroi du chauffe-eau électrique est ainsi, aujourd'hui, la plus mal isolée des parois du logement. On y met deux fois moins d'isolant que sur un mur et quatre fois moins que sur un toit. Les technologies d'isolation sous vide pourraient trouver dans les chauffe-eau un domaine d'application idéal. Mais la recherche d'un coût d'investissement très faible conduit à produire des chauffe-eau qui perdent une part considérable de l'énergie qu'ils consomment.

Le ventilateur typique, utilisé pour ventiler une maison individuelle, a une puissance d'environ 50W. Les systèmes à courant continu, qui commencent à être utili-

sés en France, assurent le même service, avec une puissance électrique divisée par 3. Leur rentabilisation est extrêmement rapide, mais le basculement vers ces produits performants se fait, en France, avec un retard certain par rapport à l'Allemagne ou aux Pays-Bas.

Ce phénomène de sous-investissement se retrouve également dans le cas de nombreux appareils électroniques, dont les consommations en veille pourraient être fortement réduites, pour peu qu'on s'intéresse un tant soit peu au problème.

L'éco-conception de ces produits industriels ne pose pas de problèmes techniques particulièrement délicats. En revanche, elle ne sera possible que si l'on met en place des dispositifs permettant de sortir de la tyrannie du moindre coût d'investissement. Trois voies complémentaires sont envisageables : les accords entre industriels, visant à se concerter pour viser ensemble des produits plus performants, qui pourraient également être plus rentables ; les réglementations thermiques, par lesquelles l'Etat fixe des niveaux minimums pour entrer sur le marché ; et enfin, l'information des consommateurs sur les dépenses entraînées par l'utilisation des différents types de produits.

LES SYSTÈMES SOLAIRES THERMIQUES ET PHOTOVOLTAÏQUES, EN PASSE DE DEVENIR LE STANDARD

L'atteinte des objectifs décrits ci-dessus ouvre alors la voie à des bâtiments à énergie positive, via la généralisation des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques.

La réglementation thermique qui s'applique aux bâtiments construits en France depuis 2006 se base sur un bâtiment de référence muni d'un chauffe-eau solaire. Elle définit ainsi ce chauffe-eau comme la norme, et non plus comme l'exception. Alors qu'en Espagne il n'est déjà plus possible de déroger à cette obligation, cela reste possible, en France. Cela a ouvert la voie à la généralisation progressive d'un équipement encore jugé très exotique il y a peu, et dont les performances vont s'accroître, dans les années à venir.

Plus technologique et moins mature aujourd'hui, la technologie photovoltaïque, qui permet de produire localement de l'électricité, suit des courbes de progression très rapide, ce qui laisse penser qu'elle sera rentable

d'ici 2020. Un des enjeux majeurs pour l'Europe, qui est le marché aujourd'hui dominant pour l'utilisation du photovoltaïque, est de devenir le producteur dominant – une position qu'elle est loin d'avoir atteinte. Les actions de R & D industrielle ont un rôle majeur à jouer pour atteindre cet objectif.

Mais l'expérience malheureuse du développement de la pompe à chaleur dans les années 1980 montre que, pour réussir, il faudra associer d'une part une R & D sur les performances propres des capteurs photovoltaïques à, d'autre part, un travail considérable sur la performance de l'ensemble du système, son installation dans un bâtiment et la durabilité de cette performance dans le temps.

L'implication d'acteurs de la recherche technologique et de l'industrie sera un facteur clé de réussite dans l'évolution des produits. Mais, contrairement, par exemple, à la filière nucléaire, très centralisée, où un petit nombre d'acteurs d'une très grande compétence peuvent faire marcher de manière très efficace des systèmes d'une très grande complexité, l'enjeu du bâtiment à énergie positive est d'arriver à des systèmes extrêmement robustes et faciles à mettre en œuvre et à exploiter. L'atteinte de cet objectif ouvrira alors la porte à une installation en masse par les acteurs du bâtiment, pour lesquels le défi est à la fois considérable et très exaltant.

LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE : UN MYTHE EN PASSE DE DEVENIR RÉALITÉ ?

Les quelques exemples cités ici illustrent l'ampleur des travaux nécessaires pour aller vers des bâtiments à énergie positive.

Si l'on compare le défi posé ici avec les défis qu'ont été, en leur temps, le programme nucléaire ou le programme du TGV, on constate que l'enjeu n'est pas tant la difficulté technique que la capacité à mobiliser un grand nombre d'acteurs autour d'objectifs communs. Ce défi, sur lequel se mobilisent plusieurs pays industrialisés, est un défi d'un nouveau type, sur lequel l'industrie française a une carte à jouer, même si ce n'est pas forcément la partition dont elle a le plus l'habitude. Une des clés du succès sera très probablement une étroite coopération, entre acteurs industriels et acteurs de la construction.