

Comparaison internationale  
Bâtiment et énergie

**C9 – SYSTEMES COMPACTS  
VENTILATION, CHAUFFAGE, EAU  
CHAUDE  
EN ALLEMAGNE, AUTRICHE ET SUISSE**

**Auteurs : Emmanuel Fleury (emmanuel.fleury@cstb.fr)  
avec la participation d'Orlando Catarina  
(orlando.catarina@cstb.fr)**

**Expert : Anne Tissot (CETIAT)**

**ADEME**



**PRÉBAT**

PROGRAMME DE RECHERCHE  
ET D'EXPERIMENTATION  
SUR L'ENERGIE DANS LE BÂTIMENT

**PUCA**

plan  
urbanisme  
construction  
architecture

## INTRODUCTION

L'objet de cette étude est l'évaluation, la capitalisation et l'analyse des conditions de transposition en France des systèmes compacts. Les systèmes compacts sont des produits assurant de façon conjointe les fonctions ventilation, chauffage et production d'eau chaude sanitaire d'un bâtiment.

Le champ de l'étude a été limité aux pays dans lesquels des produits répondant à cette définition existent, à savoir principalement l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse. Des recherches menées dans d'autres pays comme le Canada, les Etats-Unis, n'ont pas permis de trouver des produits analogues. Des fabricants existent dans les pays scandinaves, mais peu de renseignements étant disponibles, ces pays n'ont pas été traités.

### C.9.1 CONTEXTE, ANTERIORITES, DYNAMIQUE D'ACTEURS

#### CONTEXTE NATIONAL ET LOCAL

##### *Allemagne*

Le Gouvernement de M. Schröder a pris début 2002 la décision d'abandonner l'énergie nucléaire à l'horizon 2020. Même si ce processus de sortie du nucléaire pourrait être ralenti par le gouvernement en place depuis fin 2005 (M<sup>me</sup> Merkel), l'Allemagne va donc devoir faire face au cours des deux prochaines décennies à d'importants besoins de nouvelles installations de production d'électricité destinées à compenser l'abandon du nucléaire et l'arrivée en fin de vie de nombreuses centrales autres que nucléaires. Les estimations portent sur un besoin de 43 000 MWe d'ici 2020, qui pourraient être répartis entre 45 nouvelles centrales thermiques (environ 24 000 MWe) et l'amélioration de 200 centrales thermiques classiques existantes. La question de la future composition du mix énergétique va alors se poser.

La population allemande est quant à elle globalement opposée au nucléaire, mais face au problème de l'approvisionnement énergétique à moyen/long terme (dépendance aux importations et coûts des énergies renouvelables), un changement d'opinion n'est pas tout à fait exclu.

L'Allemagne a pris en outre deux engagements forts dans le cadre du protocole de Kyoto, à savoir une diminution d'ici 2005 de 25% ses émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à 1990 et une réduction de 21% ses émissions de gaz à effet de serre au cours de la période 2008-2012.

##### *Suisse*

L'énergie hydraulique constitue la seule source d'énergie nationale en Suisse.

Avec la loi sur le CO<sub>2</sub> du 1<sup>er</sup> mai 2000, la Suisse s'impose des objectifs contraignants pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cette réduction doit avant tout résulter de mesures librement consenties par les entreprises et les particuliers et de mesures de politique énergétique, mais aussi de l'action politique dans le domaine de l'environnement, des transports et des finances.

En 2001, le Conseil fédéral se fondait sur les lois sur l'énergie et sur le CO<sub>2</sub> pour lancer le programme SuisseEnergie. Au moyen de mesures librement consenties par l'économie (conventions) et de campagnes d'information, SuisseEnergie doit contribuer à atteindre les objectifs énergétiques et climatiques de la Suisse : réduire, d'ici 2010, la consommation d'énergies fossiles et les émissions de CO<sub>2</sub> de 10% par rapport à leur niveau de 1990 ; limiter la progression de la demande d'électricité à 5% au maximum d'ici 2010 ; maintenir au niveau actuel l'apport de la force hydraulique à la production de courant même lors de l'ouverture du marché de l'électricité ; accroître la quote-part des autres énergies renouvelables de 1% dans la production de courant et de 3% dans la production de chaleur.

En mai 2003, les citoyens ont rejeté deux initiatives antinucléaires, "moratoire plus" et "électricité sans nucléaire". La production nucléaire d'électricité représentait à ce moment 40 % de la consommation du pays, les autres 60 % étant fournis par la production hydraulique.

## ***Autriche***

Le gouvernement autrichien est un système fédéral avec neuf régions, et les responsabilités en politique énergétique sont partagées entre l'état fédéral et les régions. Le pays a des ressources hydroélectriques conséquentes qui couvrent 70% de ses besoins d'électricité. L'Autriche dispose également de ressources en pétrole et gaz naturel, qui couvrent respectivement 9 et 23% de ses besoins. Elle a importé environ 65% de ses besoins en énergie primaire en 2000.

Les marchés de l'électricité et du gaz ont été libéralisés en octobre 2001 et octobre 2002, en avance sur les dates d'application des directives européennes.

### **Prise de conscience collective et action**

On reconnaît généralement aux populations "germaniques", qui composent l'Allemagne, l'Autriche et une bonne partie de la Suisse, une sensibilité forte aux problématiques écologique et environnementale.

En Allemagne, le sursaut écologique a été imposé par la pollution atmosphérique résultant de son industrialisation intensive, à partir des années 70. Dès le début des années 80, plusieurs lois sont adoptées en matière de dépollution et de préservation de l'environnement. Le changement comportemental des Allemands et le long processus de sensibilisation à l'adresse des populations sont pour beaucoup dans la réussite de sa politique environnementale.

La première conséquence de cet état d'esprit est que les habitants de ces pays sont prêts à dépenser plus d'argent pour un mode de vie plus propre, moins consommateur d'énergie.

La naissance des concepts de Maisons Passives et de MINERGIE découle donc de cette sensibilité aux problèmes d'économie d'énergie.

### **ANTERIORITES ET ORIGINE DE L'INNOVATION**

Les systèmes compacts ont été développés pour assurer la ventilation, le chauffage et l'eau chaude sanitaire des maisons passives dans un seul appareil. Leur évolution a toujours été associée à l'évolution des maisons passives.

L'origine des systèmes compacts remonte au milieu des années 90 [2] : le bureau d'études ebök et le Passivhaus Institut ont fait un cahier des charges pour la mise au point d'un système de ventilation avec récupération de chaleur et pompe à chaleur intégrée, destiné aux maisons passives. Les études théoriques, économiques et pratiques ont été menées par le Fraunhofer ISE (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme), pour soutenir les industriels dans la mise au point de produits.

Au départ, les industriels étaient des PME allemandes spécialisées dans les produits de ventilation double flux (Drexel und Weiss, EMB PassivHaus, Paul, ...). Ensuite, ce sont des industriels allemands ou suisses de plus grande taille, travaillant plutôt dans le domaine du chauffage, qui se sont mis à fabriquer et/ou distribuer des systèmes compacts (Viessmann, Stiebel-Eltron, Zehnder, ...). L'offre du marché a fortement varié au cours du temps : de petits fabricants ont disparu, ou alors ont ôté ces produits de leur catalogue.

Malgré l'implication du Passivhaus Institut à l'origine, les acteurs clés du développement des systèmes compacts semblent avoir été essentiellement des industriels ; ces appareils n'ont en effet fait l'objet de travaux dans des laboratoires de recherche (EMPA, Universités de Bâle et de Lucerne en Suisse, TZWL en Allemagne) que plus récemment. Néanmoins, l'évolution et le développement des systèmes compacts sont indubitablement liés aux maisons passives et autres concepts de maisons à faible consommation d'énergie. Sans l'essor des maisons passives en Allemagne notamment, les produits n'auraient jamais sans doute atteint leur définition actuelle.

### **DYNAMIQUE DES ACTEURS**

Les acteurs qui accompagnent ce développement sont :

- Le Passivhaus Institut : référentiel technique, outil logiciel de conception destiné aux bureaux d'études, guides de mise en œuvre sur des points spécifiques (isolation, fenêtres, ventilation, ...), certification volontaire des bâtiments passifs et des composants, appareils ou systèmes qui leur sont destinés, diffusion d'informations par plusieurs sites Internet, des brochures, guides techniques, outils logiciels, conférence [5].
- L'association d'information sur les maisons passives IG Passivhaus entretient un réseau d'informations sur les maisons passives, les acteurs techniques et économiques [6],
- Des laboratoires de recherche sont connus pour travailler sur le sujet :
  - le Fraunhofer Institut für Solare Energiesystem (Fribourg) [7] ;
  - l'Institut für Energie du Fachhochschule beider Basel (Département de l'Energie de l'Université de Bâle) [8] ;
  - Hochschule für Technik+Architecture Luzern (Laboratoire de Génie Climatique, Université de Lucerne) [9] ;
  - L'EMPA (Institut de recherche sur les Matériaux et la Technologie, Suisse) [10].
- Le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP [11] rassemble tous les groupements et les organisations importants qui s'engagent en faveur de la promotion et de la diffusion des pompes à chaleur.
- Des bureaux d'architectes spécialisés, des bureaux d'études spécialisés,
- Des fabricants de matériel spécifique ou destiné aux maisons passives (matériaux, composants, systèmes)
  - (93 référencés sur le site de l'association des maisons passives) ;
- Le Ministère allemand de l'Economie de l'état fédéral finance des prêts et attribue des subventions pour la construction de maisons passives ;
- Les pouvoirs publics de plusieurs Länder allemands (Baden-Württemberg, Bavière, Brandenburg, Hessen, Basse-Saxe, Nordrhein-Westfalen, Reinland-Pfalz, Schleswig-Holstein) soutiennent le développement des maisons passives par différents mécanismes d'aides financières ;
- En Allemagne, un certain nombre d'organismes bancaires gèrent des propositions de crédit subventionné par l'état fédéral : KfW-Förderbank, UmweltBank AG, GLS Gemeinschaftsbank...
- Les cantons suisses attribuent des aides financières aux bâtiments MINERGIE ;
- La région de Haute-Autriche aide également financièrement les particuliers qui veulent faire construire une maison à faible consommation d'énergie.

Il n'y a pas à proprement parler d'acteurs résistant à l'innovation : les systèmes compacts correspondent aujourd'hui à un marché de niche qui compte tenu du prix des appareils est plutôt un marché haut de gamme. Les clients types sont des enseignants, professions du droit, médecins, et de façon générale des diplômés de l'enseignement supérieur. Ils sont généralement bien informés et savent ce qu'ils veulent, et sont prêts à payer pour une maison de bonne qualité.

## **C.9.2 CONTENU DE L'INNOVATION**

### **DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE**

Les systèmes compacts rassemblent en un seul produit les fonctions ventilation, chauffage et production d'eau chaude sanitaire et constituent ainsi une famille de produits comportant généralement :

- une pompe à chaleur sur air extrait pour le chauffage d'un ballon d'ECS,

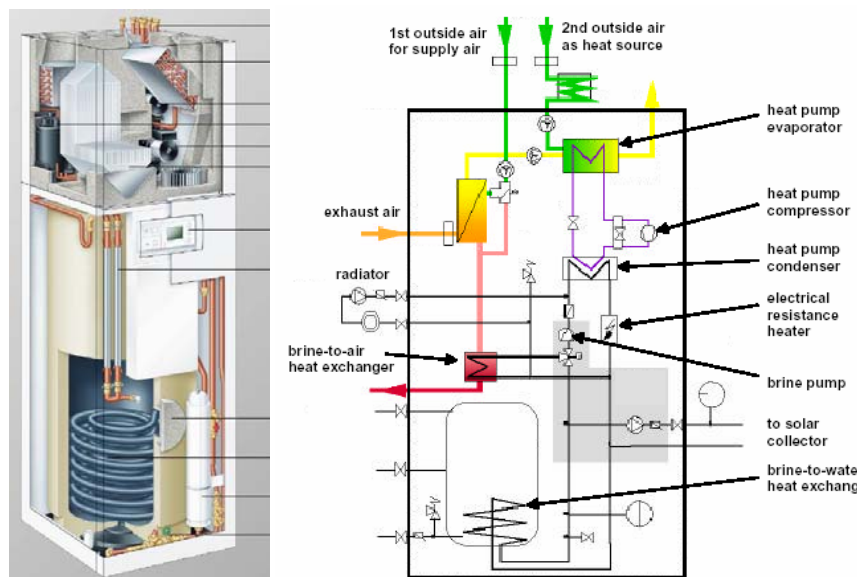
- un récupérateur de chaleur statique air extrait/air neuf.

Le vecteur du chauffage est généralement l'air. En plus du ballon d'ECS, il peut y avoir un ballon d'eau de chauffage qui peut compléter le chauffage de l'air soufflé.

Le ballon d'ECS comporte un appoint généralement électrique, de puissance variable suivant les produits. Certains industriels proposent de coupler ce système compact à d'autres éléments :

- puits canadien pour le préchauffage de l'air neuf,
- capteurs solaires contribuant au chauffage du stockage.

Chaque système compact est suivant sa technologie destiné à un type de maison : maison passive ou maison à faible consommation d'énergie, suivant sa technologie. Il n'a pas été trouvé d'informations sur une éventuelle installation de ces systèmes individuels dans le secteur tertiaire. Un seul industriel propose un produit pour appartements.



Appareil Vitres de VISSMAN

La société AEREX (ou MAICO) est largement le leader du marché des systèmes compacts dans les maisons passives en Allemagne, Autriche et Suisse, et revendique plus de 1000 systèmes installés. La société AEREX travaille avec le Fraunhofer ISE pour l'amélioration de ses produits.

Le système compact Passiv VP18-10P de Nilan est un appareil très compact avec un ballon intégré destiné aux petits ensembles de logements. L'appareil est sorti sur le marché mi-2004, 300 unités ont été installées en Allemagne, et 95 en Suisse. Il a été testé par le HTA de Lucerne.

Aucune certification basée sur leurs caractéristiques techniques n'existe actuellement pour ces produits dans leur intégralité.

## HORIZON TEMPOREL

Les systèmes compacts sont des produits actuellement émergents en Allemagne, Suisse et Autriche. Comme précisé plus haut, leur développement est intimement lié au développement des maisons passives. Il y a un grand nombre de fabricants, en Allemagne notamment.

Les systèmes compacts ayant comme source de chaleur l'air extrait uniquement ne sont destinés qu'aux maisons passives. Ces systèmes ont donc des perspectives à plus long terme, directement liées à l'émergence des maisons passives en France.

Les autres types de systèmes compacts, qui utilisent comme source de chaleur l'air extrait ainsi que de l'air extérieur, sont destinées aux maisons à faible consommation d'énergie ; leurs perspectives de transposition sont donc liées à l'implémentation de ce type de bâtiment en France.

## **CHAMP D'APPLICATION**

Les systèmes compacts sont destinés aux maisons individuelles à faible consommation d'énergie et aux maisons passives. Ils sont essentiellement installés en bâtiment neuf, parce que les maisons passives sont très majoritairement des maisons neuves. Leur utilisation peut se faire dans le cas de rénovation lourde, avec réservation pour les passages des conduits nécessaires. Dans le cas de la conception d'une maison neuve comme de sa réhabilitation, le choix du système compact doit être lié aux besoins de chauffage et d'ECS du bâtiment.

Les systèmes compacts ne sont pour l'instant pas utilisés en tertiaire. Il n'a pas été trouvé d'éléments sur le fonctionnement des appareils de la société Drexel und Weiss dans des appartements.

## **IMPACTS**

### **Consommation d'énergie et émission de gaz à effet de serre**

La consommation d'énergie d'un système compact destiné à une maison passive répondra aux exigences liées à ce type de bâtiment, à savoir une consommation d'énergie finale inférieure à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Au niveau de la performance des composants des systèmes compacts, les documentations des fabricants communiquent généralement :

- le coefficient de performance de la pompe à chaleur,
- la puissance absorbée de la pompe à chaleur,
- la consommation des ventilateurs destinés à la ventilation,
- l'efficacité de récupération de l'échangeur de chaleur air/air,
- l'efficacité de filtration des filtres placés sur l'air neuf et l'air extrait,

### **Contenu environnemental**

Il n'existe pas actuellement à notre connaissance de résultat d'analyse de cycle de vie d'un système compact.

Des analyses de cycle de vie ont été réalisées pour des pompes à chaleur, des chauffe-eau solaires individuels ou des caissons de ventilation.

Cependant, bien qu'un système compact soit une association de ces composants, on ne peut rien en déduire concernant ses impacts environnementaux.

### **Conception du bâtiment (neuf) et son usage**

Un système compact ne peut fonctionner correctement que si les besoins énergétiques (besoins en chauffage, consommation d'ECS...) de la maison dans laquelle il est installé ont été correctement prévus. Si ces besoins ont été sous-estimés, le système compact ne fonctionnera pas dans son rythme normal, ce qui pourrait entraîner notamment un recours à l'appoint électrique trop fréquent. L'installation du système compact doit être prévue suffisamment en amont pour que les charges de chauffage de la maison soient cohérentes avec la puissance que peut fournir le système compact.

L'installation d'un puits canadien doit également être anticipée et être cohérente avec la surface de terrain disponible, la présence d'arbres et de végétation...

Au niveau de l'usage, compte tenu du système de chauffage, certains comportements doivent être évités : ainsi l'ouverture trop fréquente des fenêtres (inutile puisque le système de ventilation assure le renouvellement d'air) dans une maison passive en période de chauffage peut engendrer une baisse de la température intérieure, qui mettra alors du temps à revenir à un niveau de confort. Un certain nombre de publications traitent de ce point [12] [13][14][15]...

## C.9.3 MISE EN ŒUVRE

### MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER

Les techniques de pose et l'outillage nécessaire ne diffèrent pas de ceux liés aux composants élémentaires d'un système compact (conduits de ventilation, ballon d'eau chaude, pompe à chaleur, puits canadien, panneaux solaires...). Mais certains éléments sont tout particulièrement techniques comme la pompe à chaleur et la régulation ou d'enjeu sanitaire particulièrement important (puits canadien). Des installateurs formés sont donc nécessaires. Cependant, la société STIEBEL-ELTRON, qui vend son produit LWZ 303 en France pour des maisons neuves à faibles besoins énergétiques, réalise elle-même pour l'instant l'installation de ses produits car pour elle le recours à des installateurs est prématuré...

Productivité et rentabilité sur chantier : un système compact assurant les fonctions de ventilation, chauffage et production d'eau chaude sanitaire, son temps de pose ne sera pas supérieur à la somme des temps de pose des systèmes assurant ces fonctions séparément. De plus, dans une maison passive, aucun émetteur de chaleur n'aura à être installé. La programmation et la mise en service sur site peuvent en revanche être plus longues.

Il n'a pas été possible d'obtenir des informations sur les délais de livraison.

Au plan du stockage et de la manutention, tous les éléments d'un chantier étant soumis à des risques de dégradation les systèmes compacts comme les autres, une attention particulière sera peut-être portée au produit du fait de son prix élevé.

Les compétences particulières nécessaires peuvent être :

- manipulation de fluide frigorigène pour l'installation de la pompe à chaleur,
- connaissance du puits canadien et de ses enjeux sanitaires,
- connaissance de la régulation du système complet et de son mode de programmation.

En France, les personnes assurant l'installation d'un système de ventilation, d'une chaudière ou d'une pompe à chaleur n'ont pas la même qualification. Le système de chauffage est installé par un chauffagiste, un frigoriste s'occupe de l'installation de la pompe à chaleur et le lot ventilation est parfois couplé à la peinture ou la plomberie.

Ces différentes qualifications, auxquelles on peut ajouter un installateur spécialisé dans le solaire pour d'éventuels panneaux solaires, sont nécessaires pour installer un système compact. De plus, la connaissance du produit pour une mise en service et une programmation correcte est indispensable.

Des améliorations de compétences sont donc nécessaires par exemple sous la forme de :

- formation initiale dans les différents domaines concernés (idéalement, une même personne devra savoir installer le réseau de ventilation, la pompe à chaleur et les autres éléments),
- formation par les industriels pour la connaissance du produit et de sa manipulation.

L'association MINERGIE organise régulièrement en Suisse des réunions d'information ou des sessions de formation destinées à des installateurs sur les produits du bâtiment, dont les systèmes de ventilation et les pompes à chaleur.

Certains industriels renvoient à des listes d'installateurs qui connaissent leurs produits sur leurs sites internet.

A noter que les installateurs en Allemagne notamment sont réputés pour être mieux formés et plus qualifiés que leurs homologues français. En France, on a par exemple des problèmes récurrents de qualité d'installation de système de ventilation, dus au fait qu'il n'existe pas de lot ventilation et que l'installation peut être réalisée

par des électriciens ou des peintres, et que les sources d'erreur sont nombreuses (mélange entre les composants...).

Il n'a pas été possible de savoir si une profession spécifique se développait.

Finalement, l'installation d'un système compact dans une maison individuelle neuve peut être considérée comme difficile. Les documents à disposition des installateurs sont les documents fournis par les industriels, ainsi que les diverses normes et réglementations portant sur les différentes fonctions du système compact. Ainsi par exemple, la documentation fournie par la société STIEBEL-ELTRON avec son produit LWZ 303 liste les documents applicables en Allemagne.

## **MODALITES DE GESTION, D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE**

Les modalités de maintenance du système LWZ 303 préconisées par STIEBEL-ELTRON sont les suivantes :

- maintenir libres de neige et de feuilles mortes la prise d'air neuf et le rejet d'air à l'extérieur ;
- contrôler et nettoyer l'échangeur de chaleur double flux au moins une fois par an, à l'eau chaude et avec un détergent courant ;
- débarrasser régulièrement les impuretés présentes entre les lamelles de l'évaporateur, avec un puissant jet d'eau après l'avoir démonté
- contrôler régulièrement l'écoulement des condensats.

Le sujet des filtres n'est pas abordé dans la partie maintenance de la documentation de STIEBEL-ELTRON, mais ceux-ci doivent être régulièrement changés : on préconise généralement une fois par an, après le printemps.

La recharge du fluide frigorigène doit éventuellement être réalisée à intervalles réguliers, par un spécialiste.

Un spécialiste doit être appelé en cas de tout défaut de fonctionnement.

Il n'a pas été trouvé d'informations sur l'existence de contrats de maintenance, et leur coût éventuel, sur un service après-vente et son fonctionnement.

La durée de vie des différents composants d'un système compact est a priori du même ordre de grandeur que celle d'éléments individuels de même nature.

## **INCITATIONS REGLEMENTAIRE, FISCALE, MODALITES DE FINANCEMENT**

Les éléments donnés dans cette partie sur les réglementations thermiques des différents pays proviennent en grande partie des rapports publiés dans le cadre du projet ENPER-TEBUC.

### *Allemagne*

#### **Réglementation**

La première incitation réglementaire en Allemagne est la réglementation thermique EnEv [22]. Elle a été complétée en 2004, et sera modifiée fin 2006 pour s'adapter aux directives européennes.

EnEv fixe une exigence sur la consommation d'énergie primaire du bâtiment et sur l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Cette consommation en kWh/m<sup>2</sup>/an doit être inférieure à une valeur limite, qui dépend du rapport entre la somme des surfaces des parois déperditives et le volume du bâtiment. La réglementation allemande

exige également un renouvellement d'air minimum, sans donner de valeurs. Ces exigences font qu'il est quasiment nécessaire de mettre en place un système de ventilation mécanique (la majorité des logements en Allemagne en est aujourd'hui dépourvue) conduisant à des consommations d'énergie directe (ventilateurs) et liée au renouvellement d'air les plus faibles possibles. C'est ce contexte qui favorise le développement du marché pour les systèmes de ventilation double flux à récupération de chaleur.

## **Financement**

De nombreuses modalités de financement existent en Allemagne pour la construction de maisons passives :

- La banque KfW (23] gère un programme d'aide au financement appelé "Construire écologique" depuis début 2005. La construction d'une maison passive ou à faible consommation d'énergie, ou l'installation d'équipements énergétiques performants (dont les pompes à chaleur et systèmes de ventilation avec récupération de chaleur) donnent droit à des emprunts avec des conditions favorables de remboursement. La somme prêtée est de maximum 50000 euros, à rembourser sur 10 ans maximum ; le remboursement peut commencer à la troisième année seulement. Les taux d'intérêts sont fixés en dessous du marché, et il est possible de faire des remboursements non prévus à n'importe quel moment sans frais. Cette offre peut être combinée à d'autres aides publiques ou d'autres programmes de la banque KfW. Après construction de la maison, la banque vérifie que les fonds ont bien été employés comme prévu. D'autres programmes existent, sur la rénovation des logements, les systèmes de génération d'énergie dans les logements...
- De plus, depuis février 2006, les taux d'intérêts pour un emprunt d'au maximum 50000 euros par logement et par 10 ans sont de :
  - sur 10 ans : 0,90 % effectifs
  - sur 20 ans : 1,00 % effectifs
  - sur 30 ans : 1,31 % effectifs

Ces très faibles taux sont rendus possibles par une bonification de l'état fédéral.

- Les pouvoirs publics de plusieurs Länder (Baden-Württemberg, Bavière, Brandenburg, Hessen, Basse-Saxe, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein...) ou villes allemandes soutiennent le développement des maisons passives par différents mécanismes d'aides financières.

## ***Autriche***

### **Réglementation**

La réglementation thermique autrichienne a une approche régionale puisque les textes varient suivant les régions. La consommation du bâtiment en énergie finale doit être inférieure à une valeur limite qui dépend uniquement de la surface du bâtiment.

La réglementation précise les débits de renouvellement d'air minimums des bâtiments, en fonction du type de bâtiment et de sa surface. Les déperditions par renouvellement d'air sont calculées avec l'EN 382. L'efficacité de récupération de chaleur est prise en compte dans les calculs de la consommation d'énergie.

### **Financements**

L'Autriche a mis en place en 1993 des aides publiques sous la forme de prêts avantageux pour la construction de maisons à faible consommation d'énergie. Le montant de ces aides varie avec les régions et les critères, qui sont :

- Indice énergétique maximum pour le bâtiment (énergie dépensée pour le chauffage), il est actuellement de 65 kWh/m<sup>2</sup>, et a été baissé régulièrement depuis 1993, passant de 75 kWh/m<sup>2</sup>/an à 60 kWh/m<sup>2</sup>/an pour la fin 2006, et 50 kWh/m<sup>2</sup>/an pour 2007 ;
- participation obligatoire des demandeurs à des sessions de conseil sur l'énergie, pour un audit personnalisé.

Devant le succès de cette initiative, d'autres programmes ont vu le jour :

- en 1999, un programme d'aide pour les maisons à faible consommation d'énergie ( $< 50 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ ,  $< 30 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ ) a été initié. La somme sur laquelle porte le prêt varie de 10000 à 17000 euros suivant l'efficacité énergétique de la maison.
- en 2001, elle est portée à 20000 euros pour la construction d'une maison passive.

Pour ces deux programmes, la session d'information sur l'énergie est également nécessaire.

D'autres programmes pour des aides à la réhabilitation de logements ont également été créés.

L'ensemble de ces programmes a conduit entre 1993 et 2004 à 40000 maisons concernées, des économies d'énergie de 285 millions de kWh/an, la réduction d'émission de  $\text{CO}_2$  de 57 millions de kg par an.

## *Suisse*

### **Réglementation**

Les textes de la réglementation thermique suisse varient selon les cantons.

La consommation d'énergie finale du bâtiment ne doit pas dépasser une valeur limite calculée à partir de la surface du bâtiment, sa forme, de la zone climatique, de la température intérieure, de l'occupation et des gains internes.

Les débits de renouvellement d'air à respecter sont décrits dans cette réglementation thermique. Les déperditions liées à ce renouvellement d'air sont calculées suivant l'EN 832 [24]. L'efficacité de récupération de chaleur pour les systèmes de ventilation double flux est prise en compte dans les calculs.

### **Financement**

Les cantons attribuent des subventions aux bâtiments respectant le standard MINERGIE.

Quelques entreprises d'approvisionnement en électricité promeuvent également l'installation et l'exploitation de pompes à chaleur.

Pour les bâtiments MINERGIE et les rénovations MINERGIE, certaines banques accordent des emprunts à des conditions préférentielles. Les offres classiques ont pour noms "Eco-Crédit" ou "Hypothèques MINERGIE".

## **C.9.4 EVALUATION DES RESULTATS DANS LE PAYS CONCERNE**

De nombreux produits font ou ont fait l'objet d'instrumentation suivie dans des maisons passives par les industriels et le Fraunhofer ISE. Cet institut possède des installations d'essais qui permettent de comparer les différents systèmes compacts du marché.

### **LES PERFORMANCES**

#### *Energie et confort*

#### **Campagne 2002-2004 par le Fraunhofer ISE**

Dans le cadre d'un projet financé par le fournisseur d'énergie Energie-Baden Württemberg EnBW, le Fraunhofer ISE a mené des campagnes de mesure sur site sur 27 maisons passives équipées de systèmes compacts avec panneaux solaires sur 3 ans (2002 à 2004). Les propriétaires des maisons recevaient 5000 euros pour équiper leur maison et envoyer les résultats de mesure au Fraunhofer Institut tous les mois.

La figure 1 montre les résultats obtenus sur 21 maisons sur les trois ans : la consommation d'énergie électrique varie entre 5 et 42 kWh/m<sup>2</sup>/an suivant les maisons pour assurer le chauffage (y compris la ventilation) et l'eau chaude sanitaire, avec une moyenne de 16,9 kWh/m<sup>2</sup>.

Les différences entre les maisons peuvent avoir plusieurs explications :

- mauvaise adéquation entre système et maison (mauvais calculs des besoins) ;
- comportement des utilisateurs (consommation d'eau élevée, ouverture des fenêtres en hiver trop importante...) ;
- éventuels dysfonctionnements du système...

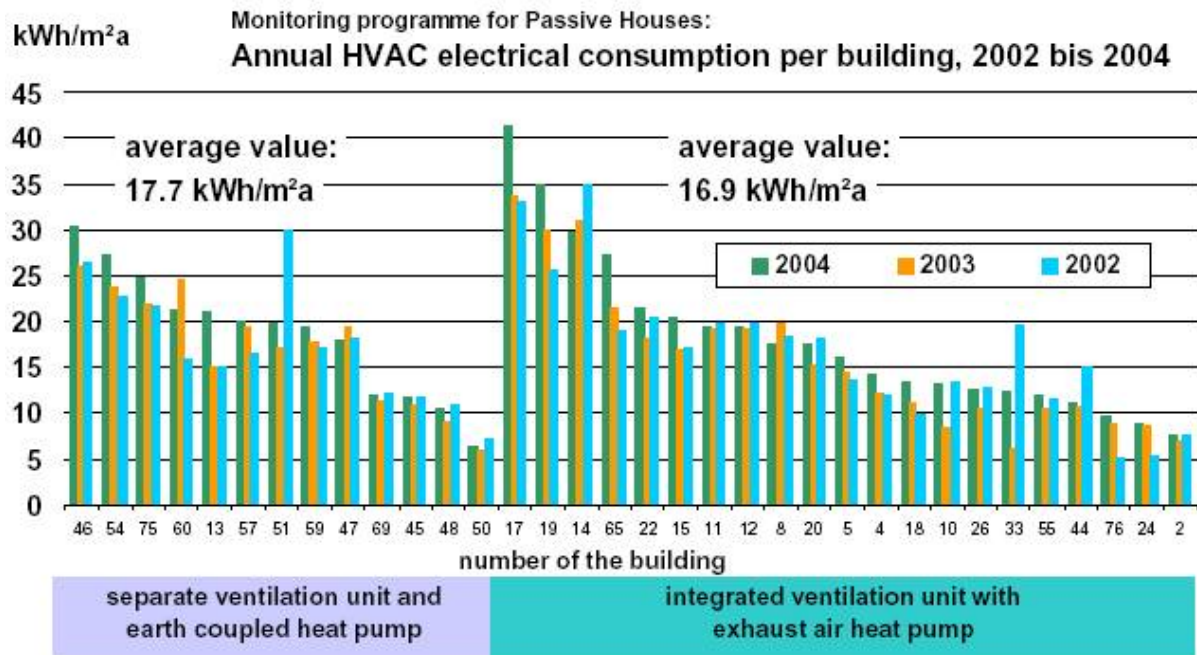


Figure 1 : Consommation électrique par maison en kWh/m<sup>2</sup>/an – les résultats des maisons équipées de systèmes compacts sont dans la partie droite du graphe

### Projet Suisse – Annexe 28

Dans le cadre de la contribution suisse à l'annexe 28 du programme Pompes à chaleur de l'AIE, l'université de Bâle et l'université de Lucerne ont réalisé des campagnes de mesure sur 3 maisons Minergie, afin de mettre au point et valider une méthode de calcul de performance des systèmes compacts.

Les résultats montrent des fonctionnements inattendus comme le fonctionnement de la pompe à chaleur pour le chauffage en été et une faible consommation d'ECS en été et en hiver. En revanche, il est intéressant de noter que l'appoint électrique pour le chauffage et l'ECS n'a pas du tout été utilisé.

Sur un des sites, les besoins de chauffage mesurés sont largement au-dessus des prévisions puisqu'ils s'élèvent à près de 73 kWh/m<sup>2</sup>/an. Inversement les besoins en eau chaude sanitaire sont bien plus faibles que ceux prévus et l'indice de chaleur pondéré est le double de la limite supérieure définie par le label MINERGIE-P.

### Caractérisations en laboratoire

Il n'existe actuellement pas de norme d'essais de système compact. Le Fraunhofer ISE a caractérisé dans son laboratoire trois systèmes compacts du marché, en s'appuyant sur la norme EN 255-3 [27]. Les COP évoluent de 2,4 à 3,45 en mode de production de chauffage et d'ECS selon les machines.

Il n'a pas été trouvé d'éléments sur la caractérisation des systèmes compacts au plan de la stabilité au feu.

## **Confort thermique**

L'ouverture des fenêtres dans les maisons passives est théoriquement inutile puisque l'ensemble des débits hygiéniques est assuré par le système de ventilation. On peut toutefois difficilement éviter une ouverture comportementale des fenêtres, purement psychologique. On revient alors dans ce cas à une non maîtrise des débits de renouvellement d'air et aux consommations énergétiques associées. Plusieurs publications du congrès allemand sur les maisons passives de 2003 ou de 2004 concernent l'ouverture des fenêtres.

Ainsi, la référence [12] concerne 9 maisons passives à Stuttgart. Pendant la saison de chauffe, d'octobre à avril, au moins une fenêtre est ouverte jusqu'à environ une heure par jour (3h/jour pour une des maisons). Certains occupants n'ouvrent jamais en hiver ; la plupart ouvrent peu ; la QAI semble donc satisfaisante. En mi-saison, les ouvertures sont plus longues (1 à 6 h/jour en septembre et octobre – 1 à 9 h/jour en mai).

En été, la conception des maisons passives, avec une forte isolation thermique, une forte inertie et une forme adaptée, permet d'éviter les surchauffes.

## **Confort acoustique**

Des informations sur les caractéristiques acoustiques des systèmes compacts figurent dans la plupart des documentations techniques, mais les valeurs indiquées ne sont la plupart du temps pas directement comparable. Il est recommandé également dans la plupart des documentations de ne pas placer le système directement sous ou à côté de chambres à coucher.

## **Aspects sanitaire et environnemental**

Au plan sanitaire, l'installation d'un système compact doit respecter certaines exigences :

- prise d'air extérieur protégée des éléments extérieurs, et éloignée de tout rejet d'air vicié,
- air neuf filtré (au minimum filtre G4 pour protéger l'échangeur),
- le filtre doit être installé de façon étanche mais être facilement démontable pour entretien,
- si le système est précédé d'un puits canadien, les règles de base sont :
- conduits en PE (polyéthylène) ou PP (polypropylène),
- pente du conduit de l'ordre de 2% pour évacuer les condensats,
- les conduits aérauliques dans le logement doivent être accessibles pour le nettoyage,
- l'évacuation des condensats doit être prévue sur les échangeurs.

## **Risques de dégradation des performances après mise en œuvre**

Des dégradations de performance peuvent se produire après mise en œuvre dans le cas notamment d'une maintenance insuffisante :

- encrassement des filtres, des échangeurs, d'une façon générale des éléments de passage de l'air, ce qui provoque une augmentation des pertes de charge et une modification des points de fonctionnement,
- dysfonctionnement des capteurs utilisés pour la régulation (capteurs de température d'eau, capteurs de température d'air, capteurs de pression, horloge...)
- mauvaise utilisation par les occupants de la maison : si les occupants imposent une température d'eau chaude sanitaire trop élevée, l'appoint électrique fonctionnera en permanence, ce qui entraînera une consommation d'énergie élevée.

## **Compatibilité entre performances des différents composants**

Aucun antagonisme entre performances n'a été mis à jour.

## LES COUTS REELS

### *Coût Initial – Investissement*

Une enquête du Fraunhofer ISE auprès des fabricants [28] fournit des éléments de coût : le prix comprend a priori système + ballon d'ECS, pour un débit de renouvellement d'air de l'ordre de 160 m<sup>3</sup>/h. Il est toutefois difficile de savoir si ces prix de vente destinés aux marchés actuellement couverts (Allemagne, Suisse, Autriche) sont des prix réels ou si l'acheteur a une marge de négociation et si des remises commerciales sont systématiquement attribuée. Ces prix varient de 5000 à 15000 euros.

Constructeur	Désignation	Prix indicatifs
AEREX	AEREX BW 125 / 175 / 225	12800 – 15500 €(site internet)
Bau Info center	WRG 134 / WRG 334	5200 €

Ces prix de prennent pas en compte les frais d'installation. Presque tous les fabricants proposent une vérification des calculs thermiques suivant les méthodes de calculs des maisons passives qui est incluse dans le prix de vente du produit.

### *Coût Opérationnel - Exploitation – Maintenance*

Les coûts opérationnels sont :

- la consommation électrique du système en fonctionnement ;
- la maintenance annuelle si elle est réalisée par un spécialiste ;
- le coût de changement des éléments comme les filtres.

En prenant la consommation électrique annuelle moyenne obtenue lors de l'étude sur site réalisée par le Fraunhofer ISE, qui est de 16,9 kWh/m<sup>2</sup> (moyenne obtenue sur 42 maisons passives équipées de système compact), pour une surface habitable de 100 m<sup>2</sup>, on obtient une consommation annuelle de 1690 kWh, ce qui représente une facture de 304 euros en Allemagne et représenterait une facture de 205 euros en France.

## LE VECU DES UTILISATEURS – AVIS DES ACTEURS ET DU PUBLIC

### **Gestionnaire**

Aucune information n'a été trouvée sur ce point.

### **Mainteneur – Commissionnement**

Aucune information n'a été trouvée sur ce point.

### **Utilisateur final – Occupants**

L'Allemand moyen ne sait a priori pas plus que le Français moyen ce qu'est la ventilation et à quoi elle sert, mais les clients, donc les utilisateurs, des systèmes compacts sont un peu plus sensibilisés.

Les systèmes compacts ne sont aujourd'hui installés que dans des maisons individuelles, et correspondent aujourd'hui à un marché de niche qui compte tenu du prix des appareils est plutôt un marché haut de gamme. Les clients types sont donc des personnes actives dans la projection et la conception de leur future maison (voir §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) De nombreuses études traitent du vécu des occupants de maisons passives, mais aucune n'aborde en particulier les systèmes compacts.

## VITESSE DE DIFFUSION DANS LE PAYS

### ***Le Marché – Commercialisation***

Les systèmes compacts occupent 30 à 50% du marché des maisons passives en Allemagne. On y compte une quinzaine de fabricants.

Plusieurs industriels ont commencé à mettre sur le marché leurs appareils courant 2004.

Un certain nombre d'autres produits sont vendus dans des maisons qui ne sont pas des maisons passives, mais à faible consommation d'énergie : STIEBEL-ELTRON a vendu par exemple près de 2000 unités LWZ 303.

Le Fraunhofer ISE a également lors d'une autre étude de marché interrogé 200 experts du domaine de la construction sur leurs prévisions du marché du bâtiment dans le futur : approximativement 50% des bâtiments neufs en 2010 seraient des maisons à faible consommation d'énergie ou des maisons passives. Le marché des systèmes compacts pourrait alors devenir un marché de masse.

### ***Volonté d'exportation***

Les sociétés les plus petites, ayant un marché localisé sur leur pays ou à la limite sur les autres pays germaniques, n'ont pas encore de volonté d'exportation des produits. Les sites internet et la documentation sont en allemand uniquement. Viessman et Stiebel-Eltron présentent leur système compact sur leur site internet français. En revanche, on ne trouve pas d'information ni de lien sur les sites français de Siemens et de Zehnder. Une demi dizaine d'appareils LWZ 303 de la société Stiebel-Eltron sont installés ou en cours d'installation en France.

## **C.9.5 REFLEXION CRITIQUE DU CSTB ET DE SES PARTENAIRES SUR LES QUATRE DIMENSIONS ETUDIEES**

### **POINTS FORTS, POINTS FAIBLES DE L'INNOVATION (METHODE SWOT)**

#### ***S : Strength - Forces***

Ces systèmes

- sont adaptés à la production, distribution et émission de faibles puissances et de faibles consommations de chauffage (le besoin principal devenant l'eau chaude sanitaire),
- utilisent de l'énergie électrique au moyen de machines thermodynamiques aux performances pouvant être élevées. De plus on peut imaginer des pompes à chaleur réversibles assurant le rafraîchissement l'été notamment lors de la production d'ECS.

Leur raccordement à une production photovoltaïque est possible pour aller vers des bâtiments à énergie positive

- sont compactes,
  - ne demandant que peu d'espace supplémentaire par rapport à une chaudière avec un ballon,
  - libérant de la place et multipliant les possibilités de rangement dans le logement par la suppression des radiateurs.
- peuvent assurer la ventilation dans des bâtiments traditionnellement non ventilés.
- fonctionnent sans recyclage de l'air, le chauffage de l'air neuf suffisant à réchauffer le logement.
- sont plus rapides à mettre en œuvre sur un chantier que des systèmes qui ne sont pas intégrés.
- répondent à une demande (plutôt faible pour l'instant) et sont a priori fiables techniquement. Leur développement est encadré par le PHI.

### **W : Weakness : Faiblesses**

- Le vecteur du chauffage est l'air neuf. L'air neuf assure deux fonctions simultanément : le chauffage et le renouvellement d'air ce qui conduit à un manque de souplesse. Est-il facile de réguler le confort thermique tout en contrôlant la qualité de l'air intérieur ?

Si le débit d'air dans chaque pièce est fixe, la température de l'air soufflé étant unique pour toutes les pièces, on ne peut donc pas adapter finement la puissance émise au besoin de chaque pièce. De plus l'air chaud est soufflé dans les pièces de séjour et extrait dans les pièces de service il faut prévoir au moins un appoint dans la salle de bain. Comment sont gérées les pointes en hiver ?

Il convient donc de vérifier que ce système respecte la réglementation d'hygiène.

- Le système implique certaines contraintes ou difficultés.

Il est complexe et bien que fiable sans doute assez difficile à gérer. Son installation fait appel à des compétences multiples. Il exige des calculs thermiques assez fins. Par ailleurs, il n'existe pas de méthodes de caractérisation communes.

Sa puissance étant faible, il peut y avoir des difficultés de mise en régime après un arrêt ou un réduit. Ainsi, l'ouverture des fenêtres peut dégrader momentanément le confort thermique. Il semble alors nécessaire que les occupants de maisons à très basse consommation soient informés des spécificités de ces maisons et de leurs équipements.

Des exemples montrent que les niveaux de consommation attendue sont parfois dépassés.

Compte tenu de son coût actuel assez élevé, sa diffusion ne se conçoit actuellement qu'avec des aides financières.

Dans certains pays le chauffage aéraulique des logements est confidentiel et ne correspond pas à une habitude des occupants.

### **O : Opportunities – Opportunités**

- Le développement de ces produits bénéficie d'un contexte favorable, les objectifs de réduction des émissions de GES pour 2050 devant certainement conduire au développement de maisons à très basse consommation, voire à énergie positive auxquelles sont liés les unités compactes.
- L'expérience à l'étranger est valorisable.
- Les unités compactes peuvent offrir des possibilités de développement industriel. C'est un nouveau marché pour des industriels déjà installés et pour de nouveaux acteurs.
- Les réglementations thermiques se durcissant, elles pourront intégrer les unités compactes.
- L'alimentation par l'électricité est un avantage si les politiques publiques ont comme priorité la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et si le parc des centrales électriques privilégie les technologies nucléaires et énergie renouvelable.
- Les systèmes compacts peuvent être considérés comme de la haute technologie pour le bâtiment. C'est une opportunité pour enrichir les compétences et pour attirer des capitaux.
- L'intégration dans un même système des fonctions chauffage, ventilation et ECS intéresse des constructeurs qui cherchent à limiter le nombre d'interlocuteurs, qui souhaitent un correspondant et un responsable unique pour l'installation et le réglage de toutes ces prestations.

## ***T : Threats – Menaces***

- Au plan de la filière :

Les industriels peuvent-ils créer un marché viable ? Actuellement, il faut des aides financières maintenir des niveaux de prix abordables.

De nouveaux acteurs innovants (spin-off, start-up) concurrencent en permanence les fabricants établis en proposant de nouveaux produits.

La distribution et l'installation des systèmes compacts sont impossibles sans le soutien des industriels qui sont contraints d'investir dans les métiers aval, ce qui peut fragiliser leur santé financière.

Il n'y a pas de métier support au niveau du négoce, du chantier et de la maintenance. Que deviennent les chauffagistes devant le besoin d'un métier nouveau pour installer et maintenir ces systèmes ? L'installation exige en effet des compétences qui n'existent pas en France.

- Il y a des systèmes concurrents, qui pourraient également se révéler efficaces (les systèmes compacts n'équipent que 40% des maisons passives)

Compte tenu du faible niveau de besoin, le chauffage électrique par convecteur avec un système de ventilation double flux (par pièce ?) et l'ECS solaire (voire le chauffage par cheminée en zone rurale ou périurbaine) peut être une solution dans les maisons passives, car c'est une solution que l'on rencontre dans l'habitat traditionnel, que l'on connaît et qui pourrait se révéler moins onéreuse.

Les composants utilisés dans les systèmes compacts (pompe géothermale, double flux, ...) et assemblés à la demande sur le chantier sont aussi des concurrents, le coût du montage pouvant être compensé par des équipements moins chers qui s'adressent à un marché plus important. De plus ces systèmes moins intégrés atteignent des performances énergétiques équivalentes et ont déjà un réseau support pour la distribution et l'installation.

- Il y a des cas où les prévisions de consommation sont largement dépassées. Il est nécessaire d'améliorer notre connaissance de tels systèmes. Les retours d'expériences très fouillés manquent, tant pour ce qui est de l'aspect technique que de l'aspect sociologique.
- L'acceptabilité par l'utilisateur à grande échelle reste à démontrer. Jusqu'à présent le marché est un marché de niche touchant surtout une clientèle aisée, informée et motivée.
- Son développement est lié à celui de la maison passive. Cela implique que le système compact ne peut concerner que le neuf ou la réhabilitation lourde, ce qui en limite le marché.
- Ces systèmes doivent prendre en compte les exigences réglementaires concernant les fluides frigorigènes.

## C.9.6 CONDITIONS DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

### LES CHANCES DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

Les unités compactes ayant été conçues pour les maisons passives, leur développement est intimement lié à celui des maisons à très faible consommation d'énergie et des maisons à énergie positive dans le contexte du protocole de Kyoto.

Les pays industrialisés dont la France doivent réduire leurs émissions de gaz à effet de serre d'un facteur 4 d'ici à 2050. Cette réduction concerne tous les secteurs d'activité, notamment le secteur du bâtiment qui doit mettre en œuvre des solutions innovantes tant dans l'existant que dans le neuf pour atteindre cet objectif.

Les pays germanophones ont mis au point une solution originale avec les systèmes compacts pour le chauffage, la ventilation et la production d'ECS des maisons passives. Toutefois les systèmes compacts pouvant être utilisés directement en France dans des opérations de démonstrations doivent être adaptés au contexte Français (métropolitain, DOM...) pour une diffusion plus large :

- Compte tenu du climat des pays germanophones en général, les unités compactes sont surtout destinées au chauffage et à la production d'ECS. Les trois types de climat, continental, méditerranéen et océanique, représentés en France vont conduire à des besoins de chauffage variés voire à des besoins de refroidissement. Ainsi par exemple, des systèmes avec des pompes à chaleur réversibles permettraient de produire du froid l'été associé ou non à la production d'ECS.
- D'autres systèmes pourraient concurrencer les unités compactes. On peut citer le chauffage électrique direct allié à un système de ventilation double flux avec un récupérateur performant et une production d'ECS solaire.
- Les unités compactes sont principalement destinées à la maison individuelle neuve et aux cas de rénovation très lourde. On doit s'interroger sur leur adaptation au traitement individuel des logements collectifs. Dans le tertiaire les systèmes à air constituent une bonne base de réflexion de par leur analogie avec les systèmes compacts.
- Les freins au développement des unités compactes en France telles qu'elles sont proposées actuellement sont réels :

Les unités compactes sont fondées sur la ventilation double flux avec échangeur. En France, dans le logement la ventilation par extraction mécanique est fortement représentée et des systèmes comme la ventilation hygroréglable sont développés. Il convient donc de comparer ces systèmes tant au plan de l'efficacité de la ventilation qu'au plan des consommations d'énergie.

L'air neuf est le vecteur de chauffage. Le chauffage aéraulique dans les logements reste confidentiel en France. Une des raisons pourrait être son inadéquation avec les normes sociales que l'on associe au confort thermique chez soi : chaleur, réconfort, plaisir, etc. En établissant des relations de dépendance étroite entre chauffage, ventilation et production d'eau chaude sanitaire, les systèmes compacts rendent difficile la compréhension par l'utilisateur des principes de fonctionnement.

Par ailleurs, il semble difficile d'assurer correctement le chauffage et la ventilation simultanément. De plus, la qualité du chauffage aéraulique dépend sensiblement de la qualité de la diffusion de l'air dans les pièces.

- Le long processus de sensibilisation de certaines populations du nord de l'Europe sur la préservation de l'environnement commence à porter ses fruits. Ainsi, les particuliers ont changé de comportement et sont prêts à investir plus pour des systèmes plus écologiques qu'ils sont d'ailleurs fiers de montrer. Cet état d'esprit ne se retrouve en France que dans les CSP+. Cela implique que les systèmes compacts seront dans un premier temps limités à un marché de niche positionné haut de gamme. Les premiers clients types seront plutôt des diplômés sensibles à l'écologie.
- Dans les pays du nord de l'Europe, le coût d'un système de chauffage est différent du nôtre. Les solutions moins coûteuses à l'investissement comme la chaudière murale ou le chauffage électrique y sont

l'exception. Le consommateur français risque donc de solliciter des soutiens financiers pour choisir cet équipement.

- Le système compact fait appel à un ensemble de technologies plus ou moins complexes. Des contrats de maintenance sont indispensables pour garantir les performances dans le temps. Or les habitants de maison individuelle sont peu habitués à cette démarche et ils ne sont pas compétents pour vérifier si le travail prévu a été bien réalisé. Il faut donc mettre en place une structure d'accompagnement des utilisateurs et encadrer la filière maintenance.
- Il convient également d'analyser la place du chauffage électrique.
- Le modèle économique français de la production d'électricité est spécifique avec une part prépondérante du nucléaire. Sera-t-il adapté aux maisons à très faible consommations d'énergie, dans lesquelles on rencontre les systèmes compacts, ayant un profil de consommation différent, c'est-à-dire une consommation moyenne plus faible mais des pointes maintenues à des niveaux élevées ?
- L'ouverture des fenêtres est très pénalisante en terme de confort thermique. Qu'elle va être l'attitude de l'utilisateur par rapport à cette contrainte, notamment dans des pièces comme la cuisine ? La fenêtre répond également à des besoins plus ou moins conscients tels que la relation à l'extérieur et l'accès à l'air libre. Mais ce point concerne plus la maison passive que le système compact.

## **COMPATIBILITE AVEC LE CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF FRANÇAIS**

Le chauffage aéraulique par l'air neuf, tel que réalisé par les unités compactes, doit faire l'objet d'évolution pour respecter la réglementation, en effet :

- la réglementation relative à l'aération des logements impose d'une part des entrées d'air dans les pièces principales et des sorties dans les pièces de service et d'autre part des débits d'air à extraire,
- la réglementation thermique impose notamment qu'une installation de chauffage, hors base pour les systèmes mixtes, doit comporter par local desservi un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure du local.

## **QUELLE DYNAMIQUE D'ACTEURS NÉCESSAIRE**

L'expérience étrangère montre que le développement des unités compactes est lié principalement à celui des maisons individuelles neuves à très faible consommation d'énergie. En fait les engagements pris en matière de réduction des émissions de GES impliquent de généraliser les bâtiments à très faible consommation dans le neuf et la réhabilitation tant pour le résidentiel que le tertiaire.

Il est alors nécessaire d'établir une typologie du parc immobilier français montrant l'importance et les spécificités de chacun des secteurs afin de définir des solutions adaptées.

On conçoit trois étapes de développement en France :

- des groupes d'acteurs complémentaires constitués au moins d'un centre de recherche, d'un maître d'ouvrage et d'un industriel mettent au point des produits à partir de ce qui existe et les installent dans des opérations de démonstration.
- l'expérience acquise permet d'une part la sélection des meilleures solutions et la définition de labels pour l'enveloppe et le système et d'autre part la diffusion plus large des unités compactes en même temps que les bâtiments.
- passage à la pratique courante.

L'expérience à l'étranger concernant surtout la maison neuve il semble judicieux de d'aborder ce secteur en premier. L'expérience propre acquise permettra alors de traiter les autres secteurs et notamment l'existant qui demande des solutions spécifiques développées selon le niveau de performance visé.

Ce développement doit être soutenu par un programme de recherche ambitieux :

- développement des composants des enveloppes et des systèmes,
- développement de solutions globales cohérentes par secteur,
- développement d'outils de calcul,
- développement d'outils de formation, d'information des futurs occupants,
- étude de terrain pour connaître le comportement réel des équipements et la réaction des occupants et ainsi faire un retour vers les étapes de développement. Il s'agit notamment d'expliquer les dépassements de consommation qui pourraient apparaître.

Il convient également de mettre en œuvre des aides financières pour passer à un marché autonome. La réflexion pourrait aussi porter sur l'intérêt d'un système de garanties de résultat.

Il faut également favoriser le développement des métiers support à cette technologie. Les installateurs français restent attachés à leur activité d'assembleur sur chantier. Ils risquent donc d'être réticents à installer des systèmes intégrés qui sont de nature à favoriser le transfert d'une partie de leur marge vers les industriels.

Les industriels constituent le relais essentiel au développement des systèmes compacts. Un des moteurs essentiels de leur motivation est l'intégration à un réseau disposant d'une image forte type Passiv Haus ou Minergie.

Les constructeurs de maisons individuelles apparaissent aussi comme un relais puissant car les systèmes intégrés peuvent être une piste pour réduire le délai des chantiers.

## **DISPONIBILITE EN FRANCE DES TECHNIQUES CONCERNEES ET DES COMPETENCES DE POSE.**

Plusieurs industriels de la ventilation disposent du savoir faire pour mettre au point des unités compacts et y apporter les adaptations au contexte français. Une société développe un système double flux avec récupération par pompe à chaleur réversible (refroidissement possible de l'air neuf soufflé). Il convient de noter qu'en France les industriels de la ventilation sont souvent à l'origine d'innovations technologiques.

Bien que le savoir faire, les techniques de pose et l'outillage nécessaire ne diffèrent pas de ceux liés aux composants élémentaires d'un système compact et même si certains éléments sont particulièrement techniques ou d'enjeu sanitaire important, la difficulté de mise en œuvre vient surtout de la multiplicité des compétences à rassembler. A tel point que pour l'instant certains fabricants allemands réalisent eux-mêmes l'installation de leurs produits.

En France, les PAC et l'ECS sont installées par les plombiers ou les électriciens et il n'y a pas de professionnels de la pose de la ventilation : l'électricien par exemple pose le groupe d'extraction et le menuisier les entrées d'air.

Des améliorations de compétences sont donc nécessaires, à la fois pour l'ingénierie, pour l'installation et pour la maintenance. Cependant considérer une seule personne rassemblant toute les compétences requises semble illusoire. La pose pourrait être assurée sous la responsabilité d'une personne maîtrisant au moins un des champs de compétence et connaissant bien les produits, aidée pour les autres champs.

La formation des installateurs par les industriels est donc très importante.

## **QUELS TYPES D'INCITATIONS ENVISAGER**

### ***Réglementation Technique***

Le durcissement de la réglementation thermique prévu à intervalles de cinq ans ainsi que la mise en place de labels (HPE, THPE, basse consommation et leurs versions solaires) conduiront inmanquablement au développement des maisons à très faible consommation d'énergie.

### ***Fiscalité, Financement, Soutien des Collectivités locales***

Un point de blocage est le coût des solutions.

En Allemagne, en Suisse et en Autriche au niveau fédéral comme au niveau régional des programmes d'aide à la construction de maisons passives sont mis en œuvre. Ces aides sont des aides directes ou des prêts à taux avantageux par rapport au marché et avec des facilités de remboursement. L'attribution des aides dépend de différents critères qui peuvent être un indice de consommation comme en Autriche ou le respect des exigences du standard Minergie en Suisse. Les aides peuvent être gérées par des banques.

Il convient de noter que les aides sont destinées à la construction de maisons passives ou à très faible consommation d'énergie, il ne semble pas y avoir d'aides ciblées sur les unités compactes.

On constate qu'il faut non seulement mettre en œuvre des montages financiers, avec l'implication du secteur bancaire, destinés à financer tout ou partie du surcoût de construction et des mécanismes de crédit d'impôt, mais aussi définir la performance à atteindre pour justifier le financement et un contrôle a posteriori.

### ***Initiatives Privées***

Plusieurs initiatives se développent en France :

- des maisons neuves à faible consommation d'énergie et de réhabilitation performantes.
- de la part de l'Ademe, des régions, de certaines banques notamment pour l'aide au financement d'équipements et de travaux en faveur des énergies renouvelables. Citons l'association Effinergie, rassemblant des collectivités locales et des professionnels du bâtiment, ayant pour but de promouvoir les constructions à basse consommation d'énergie et de développer en France un référentiel de performance énergétique des bâtiments neufs et existants.

Bien que ne concernant pas les systèmes compacts, elles constituent une opportunité pour la première des trois étapes proposées pour le développement des systèmes compact. En effet ces initiatives, vont dans le sens de l'amélioration énergétique des bâtiments vers le développement des bâtiments à très faible consommation d'énergie dont dépend le sort des unités compactes.

Ces initiatives, qui montrent qu'il n'y a aucune fatalité et que les participants à l'acte de construire se sensibilisent, doivent être étudiées en détail pour capitaliser leur expérience et fédérées pour se développer.

## REFERENCES

- [1] Site internet de la DGEMP (Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières) : <http://www.industrie.gouv.fr/energie/sommaire.htm>
- [2] BÜHRING Andreas - *Wärmepumpen-Kompaktgeräte zur Lüftung, Warmwasserbereitung und Heizung im Passivhaus* - 2. Passivhaustagung, 1998
- [3] DURIER F., LE VAGUERESE P. - Appareils multifonctions pour ventilation, chauffage et eau chaude sanitaire : les produits disponibles sur le marché allemand – NTV CETIAT 2003/042, mai 2003
- [4] Systèmes de chauffage et de ventilation innovants, journée technique CETIAT, 6 septembre 2005
- [5] Site internet de l'Institut des maisons passives "Passivhaus Institut" : <http://www.passiv.de/>
- [6] Site internet de l'association d'information sur les maisons passives "IG Passivhaus" : <http://www.ig-passivhaus.de/>
- [7] Site internet du Fraunhofer Institut Solare Energiesystem : [www.ise.fhg.de](http://www.ise.fhg.de)
- [8] Site internet de l'Ecole supérieure des deux Bâle : <http://www.fhbb.ch/index.php>
- [9] Site internet de l'Ecole supérieure Technique et d'Architecture de Lucerne [www.hta.fhz.ch](http://www.hta.fhz.ch)
- [10] Site internet de l'institut de recherche EMPA (Sciences et Technologie des Matériaux) : [www.empa.ch](http://www.empa.ch)
- [11] Site internet du Groupement Promotionnel Suisse pour les pompes à chaleur GSP : [www.pac.ch](http://www.pac.ch)
- [12] Johann Reiss – *Ergebnisse des Forschungsvorhabens « Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer grosstechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach »* - 7. Internationale Passivhaustagung – 21-22/02/2003 – Hambourg – pp 53-63
- [13] Marc Grossklos, Tobias Loga – *Fensteröffnung in Passivhäusern* – 7. Internationale Passivhaustagung – 21-22/02/2003 – Hambourg – pp 201-208
- [14] Oliver Kah – *Kontinuierliche Luftwechseluntersuchungen in bewohnten passivhäusern – abschliessende Ergebnisse* – 8. Internationale Passivhaustagung – 16-17/04/2004 – Krems – pp 293 – 305
- [15] Hartmut Hübner, Andreas Hermelink – *Sozialer Mietwohnungsbau gemäss Passivhausstandard. Praktische Erfahrungen und Gestaltungshinweise* - 7. Internationale Passivhaustagung – 21-22/02/2003 – Hambourg – pp 345-352
- [16] Site internet du projet européen ENPER – TEBUC : <http://www.enper.org/>
- [17] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B.1, Energy Performance of Buildings : Calculation Procedures Used in European Countries – 01/09/2004
- [18] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B2 : Energy Performance of Buildings : Assessment of Innovative Technologies – 01/09/2004
- [19] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B3: Energy Performance of Buildings : Legal Context and Practical Implementation of an Energy Performance Legislation – 01/09/2004

- [20] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B5: Energy Performance of Buildings : Impact of an EP Regulation on the Building and Technology Market – 01/09/2004
- [21] Projet européen ENPER-TEBUC — 01/09/2004
- [22] Site internet sur la réglementation thermique allemande : <http://www.enev-online.de/>
- [23] Site internet de la Banque KfW : [www.kfw-foerderbank.de](http://www.kfw-foerderbank.de)
- [24] EN 832 Août 1999 - Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage - Bâtiments résidentiels
- [25] BÜHRING Andreas – *Development and measurements of compact heating and ventilation devices with integrated exhaust air heat pump for high performance houses* – 8<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference, Las Vegas, Juin 2005
- [26] AFJEI T., WEMHÖNER C., DOTT R., HUBER H., KELLER P. – *A generic calculation scheme to estimate seasonal performance of combined systems and experimental results* – IEA HPP Annex 28 Workshop Las Vegas, 30/05/2005
- [27] EN 255-3 Octobre 1997 "Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur avec compresseur entraîné par moteur électrique. Mode chauffage - Partie 3 : essais et exigences de marquage pour les appareils pour eau chaude sanitaire."
- [28] BÜHRING Andreas - *Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten* - 9. Internationale Passivhaustagung – 29-30/04/2005 – Ludwigshafen – p.139 - 144
- [29] BÜHRING A., BICHLER C., JÄSCHKE M., WAPLER J., MIARA M., SCHOSSOW M. GUTER W. - *Lüftungs-Kompaktgeräte: Marktüberblick und Stand der Weiterentwicklung* - 9. Internationale Passivhaustagung – 29-30/04/2005 – Ludwigshafen
- [30] Energie – Statistiques mensuelles – Commission Européenne – Environnement et Energie, mars 2006 – 177 pages
- [31] Energie et Matières premières, Prix du gaz et de l'électricité en Europe au 1<sup>er</sup> juillet 2005 – DGEMP, Observatoire de l'Economie de l'Energie et des Matières Premières, Observatoire de l'Energie, Février 2006
- [32] Site du Surveillant des prix de l'électricité suisse : <http://prix-electricite.monsieur-prix.ch/web/f/>
- [33] Site de EUROSTAT : <http://epp.eurostat.cec.eu.int>
- [34] Site internet de l'association MINERGIE : [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)