

Comparaison internationale
Bâtiment et énergie

**C8 - VENTILATION DOUBLE FLUX
EN ALLEMAGNE, SUISSE, PAYS-BAS ET
BELGIQUE**

**Auteurs : Bernard Collignan (bernard.collignan@cstb.fr)
avec la participation d'Orlando Catarina
(orlando.catarina@cstb.fr)**

Expert : Anne Tissot (CETIAT)

ADEME



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 de ventilation double flux. Les quatre premières étapes correspondent à une synthèse d'une étude du CETIAT. Les systèmes considérés sont :

- Les centrales double flux haute efficacité (supérieure à 75%), destinées à la ventilation de l'ensemble d'une maison individuelle (débit inférieur à 500 m³/h),
- Les systèmes double flux locaux ou décentralisés, destinés à la ventilation d'une seule pièce ou d'un petit groupe de pièces, avec récupération de chaleur.

Le champ de l'étude a été limité aux pays dans lesquels des produits répondant à cette définition existent, à savoir principalement l'Allemagne et la Suisse. Les Pays-Bas sont très fortement concernés par les systèmes de ventilation double flux, mais la barrière de la langue n'a pas permis des recherches poussées. Quelques informations concernant la Belgique sont également fournies.

C.8.1 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^{me} 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 CO₂ 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 CO₂ du 1^{er} 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 CO₂ 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 CO₂ 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

Le concept de maisons passives et le label MINERGIE, qui connaissent de plus en plus de succès en Allemagne, en Autriche et en Suisse, imposent un système de ventilation mécanique à récupération de chaleur, la forte étanchéité des bâtiments ne permettant pas un renouvellement d'air par infiltrations. Cette exigence a énormément influencé le marché des centrales double flux et des double flux locaux dans ces pays.

Certaines centrales sont donc signalées dans les documents commerciaux comme étant destinées aux maisons passives ou aux maisons à faible consommation d'énergie, et l'Institut des Maisons Passives (PassivHaus Institut) délivre un certificat aux produits qui respectent un ensemble de critères (consommation électrique, efficacité de récupération de chaleur...).

DYNAMIQUE DES ACTEURS

Les acteurs qui accompagnent le développement des maisons passives et à faible consommation d'énergie, qui ont beaucoup influencé le développement des systèmes de ventilation double flux sont :

- Le Passivhaus Institut [7] : 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 annuelle (Internationale Passivhaustagung) avec 500 participants (architectes, bureaux d'étude, fabricants, chercheurs) organisée depuis 1996 et des journées techniques réunissant chaque année une centaine de bureaux d'études.

- L'association d'information sur les maisons passives IG Passivhaus [8] entretient un réseau d'informations sur les maisons passives, les acteurs techniques et économiques,
- Des laboratoires de recherche sont connus pour travailler sur le sujet :
 - le Fraunhofer Institut für Solare Energiesystem (Fribourg) [9] ;
 - l'Institut für Energie der Fachhochschule beider Basel (Département de l'Energie de l'Université de Bâle) [10] ;
 - Hochschule für Technik+Architecture Luzern (Laboratoire de Génie Climatique, Université de Lucerne) [11] ;
 - L'EMPA (Institut de recherche sur les Matériaux et la Technologie, Suisse) [12].
- Des bureaux d'architectes spécialisés,
- Des bureaux d'études spécialisés,
- Le Ministère de l'Economie de l'état fédéral finance des prêts et attribue des subventions pour la construction de maisons passives (voir partie 1),
- Les pouvoirs publics de plusieurs Länder (Baden-Württemberg, Bavière, Brandenburg, Hessen, Basse-Saxe, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein) soutiennent le développement des maisons passives par différents mécanismes d'aides financières (voir partie 1)
- Un certain nombre d'organismes bancaires gèrent des propositions de crédit subventionné par l'état fédéral : KfW-Förderbank, UmweltBank AG, GLS Gemeinschaftsbank... La banque KfW a un rôle proche de celui de l'ANAH (Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat) en France.
- L'IWU, l'Institut pour le Logement et l'Environnement est un institut de recherche de la région de Hesse et de la ville de Darmstadt. Ses objectifs sont de rechercher, dans le cadre de coopérations interdisciplinaires, des formes actuelles de conditions de logement et de vie. Un des buts est d'améliorer les conditions de logement des plus démunis. De plus, l'IWU étudie les possibilités d'utilisation de l'énergie rationnelle. Il participe à la rédaction de petits guides d'information (financés par le Ministère de l'Economie de la région de Hesse) à destination du grand public sur divers sujets liés au logement : fenêtres, maisons passives, systèmes de ventilation... [13]

De façon plus spécifique aux systèmes de ventilation, les acteurs sont :

- les industriels (regroupés en associations et syndicat, voir ci-dessous). Contrairement à ce qui existe en France, les industriels de la ventilation des logements en Allemagne sont différents de ceux de la ventilation des bâtiments tertiaires et de l'industrie ; lors de son enquête en 2004-2005, le TZWL (voir plus bas) a recensé 61 fabricants de systèmes de ventilation centralisés et 56 fabricants de systèmes de ventilation décentralisés, soit 94 constructeurs au total pour le marché de la ventilation des bâtiments [14].
- le DIBt en Allemagne pour la gestion de la certification et l'attribution de l'agrément ;
- les laboratoires pour les essais et l'aide au développement qu'ils ont pu apporter aux industriels :
 - le Fraunhofer Institut für Solare Energiesystem (Fribourg) [9],
 - le TZWL (Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte) [15] : laboratoire d'essais spécialisé dans les systèmes de ventilation pour l'habitat. Le TZWL édite tous les ans une liste des constructeurs de matériels de ventilation pour l'habitat, avec leurs caractéristiques, s'ils sont certifiés...

- le laboratoire IKE ("Institut für Kernenergetik und Energiesysteme") de l'Université de Stuttgart [16],
- ...
- diverses associations de constructeurs allemands qui ont une action très forte pour promouvoir les systèmes de ventilation pour l'habitat, et notamment les systèmes de ventilation double flux, avec l'édition régulière de lettres d'information, la parution de plaquettes techniques...
 - Le site internet "Frischluftechnik im Wohnungsbau" (Techniques de renouvellement d'air dans l'habitat) est un portail d'informations sur les systèmes de ventilation dans l'habitat, qui concerne l'ensemble des acteurs, des fabricants aux utilisateurs finaux et qui fonctionne en collaboration avec l'association VfW (voir ci-dessous). Les thèmes abordés sont vastes : technique, économique, santé, économie d'énergie [17].
 - L'association pour la ventilation des logements "Verband für Wohnungslüftung e.V." (VfW) [18], qui a pour objectif de disséminer les informations sur la ventilation mécanique pour l'habitat avec et sans récupération de chaleur, corriger les idées reçues, et soutenir les travaux réglementaires sur le sujet.
 - Le Kompetenzzentrum für Wohnungslüftung [19], lié aux deux structures précédentes, a pour objectif de communiquer sur les systèmes de ventilation. Il publie régulièrement une lettre d'information avec des informations techniques et générales.
 - Le Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. [20] est le syndicat des fabricants de matériels climatiques et aérauliques. Il gère des actions de communication sur notamment la ventilation. Le groupe de travail "ventilation contrôlée" du Fachinstitut Gebäude-Klima [21] gère un site internet d'information sur les systèmes de ventilation mécanique dans l'habitat.

Le Fachinstitut Gebäude-Klima a initié en 1994 avec le Ministère fédéral de l'Enseignement, de l'Economie, de la Recherche et des Technologies le projet FIA " Forschungs-Informationen-Austausch" (Recherche, Information, Echanges). L'objectif principal de ce projet est la création et le renseignement de la base de données LUFTIKUS, dans le domaine de la ventilation et du climat intérieur. Cette base de données contient des publications, les différents projets en cours en Allemagne, et les services qu'assurent les industriels et distributeurs.

On trouve également énormément d'associations ou d'instituts, souvent liés aux Ministères de l'Environnement des différentes régions d'Allemagne, qui travaillent et communiquent sur les systèmes de chauffage, ventilation et production d'eau chaude sanitaire, sur les économies d'énergie dans les logements, sur la qualité d'air intérieur...

Aucun acteur résistant à l'innovation n'a été identifié.

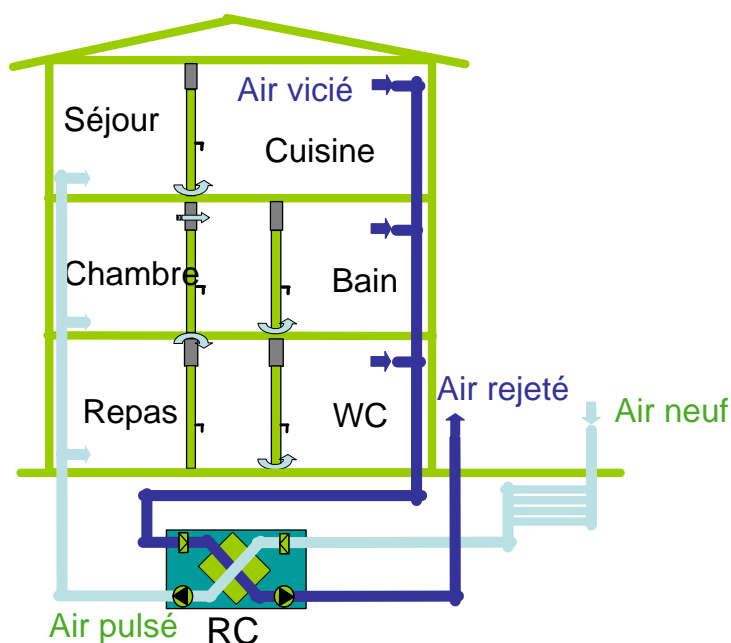
C.8.2 CONTENU DE L'INNOVATION

Dans cette partie sont présentées les caractéristiques techniques des différents systèmes faisant l'objet de cette étude : les centrales doubles flux haute efficacité et les systèmes doubles flux locaux. Ces produits sont présents sur le marché allemand, mais certaines sociétés exportent en Suisse, en Autriche et aux Pays-Bas notamment.

Les sites internet des sociétés citées sont donnés dans la liste des références, à la fin de ce rapport.

LES CENTRALES DOUBLE FLUX HAUTE EFFICACITE

Les centrales présentées dans cette partie sont celles pouvant équiper des maisons individuelles, ou de grosses maisons pouvant contenir plusieurs familles. Les débits les plus élevés sont donc de l'ordre de 500 m³/h. Seules celles présentant une efficacité de récupération de chaleur supérieure à 75% ont été retenues, mais il existe de très nombreux produits d'efficacité inférieure.



Système de Ventilation Double Flux avec récupération d'énergie
(Source - DIAE-Service cantonal de l'énergie- Christian Freudiger -Minergie-Genève)

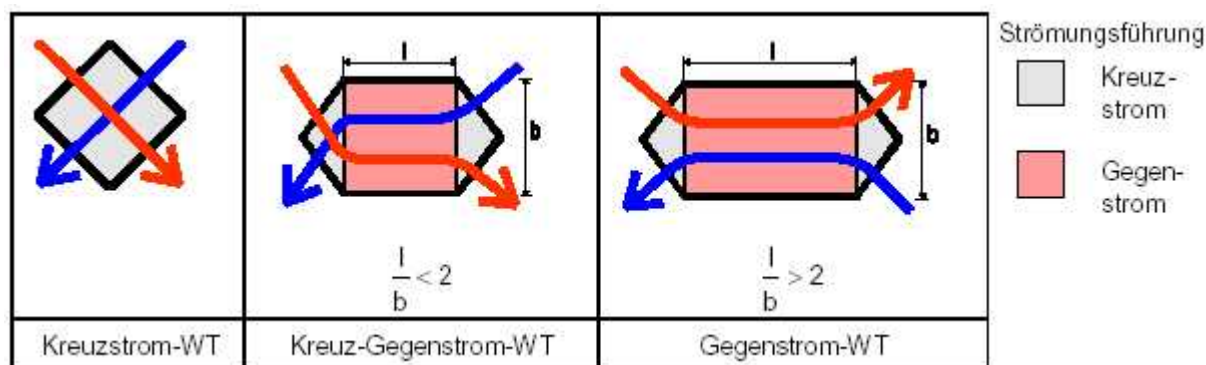
Les centrales comportent globalement les mêmes éléments.

L'échangeur

Il existe deux grandes familles d'échangeurs pour ce type de centrale : échangeur statique et échangeur rotatif.

- Les échangeurs statiques peuvent être à contre-courants, à courants croisés ou à contre-courants croisés. L'efficacité de ces échangeurs varie avec le type :

- courants croisés : 50 - 70%
- contre-courants croisés : 70 – 80%
- contre-courants : 85 – 99%



Trois types d'échangeurs statiques, de gauche à droite : courants croisés, contre-courants croisés, contre-courants

- Les échangeurs rotatifs, constitués de plaques d'aluminium ondulées enroulées autour de l'axe de rotation ont une efficacité de récupération de chaleur de l'ordre de 70-80%.

Les moteurs des ventilateurs

Les moteurs des ventilateurs sont à courant alternatif ou courant continu. Les moteurs à courant continu permettent une réduction des consommations électriques, ont une durée de vie plus élevée que les moteurs à courant alternatif classiques et peuvent être installés et entretenus plus facilement. Ils permettent de plus facilement faire varier le débit des centrales suivant les besoins. Ils sont de plus en plus utilisés dans les centrales de ventilation double flux.

Les classes de filtre

Les centrales comportent presque systématiquement un ou plusieurs rangs de filtration sur l'air neuf et l'air repris. Le filtre sur l'air repris sert à protéger l'échangeur d'un encrassement trop rapide, et est généralement de classe G3 ou G4. Certains produits ne comportent toutefois que du G1, ou signalent simplement une "grille".

Le filtre sur l'air neuf protège également des grosses poussières, avec du G3 ou G4, mais la plupart des produits comportent deux rangs de filtration, avec un deuxième filtre de classe F5 à F7. Un filtre plus efficace, comme F8 (pour la protection des pollens) est souvent proposé en option.

Quelques centrales comportent une mesure de pertes de charge des filtres, qui permet de signaler automatiquement le moment de changer les filtres lorsqu'ils sont trop encrassés.

Les conduits

Les conduits de ventilation sont la plupart du temps des conduits rigides en plastique et/ou en métal et non des conduits souples.

La régulation

La plupart des centrales ont 3 ou 4 allures de fonctionnement : réduit pour les périodes d'inoccupation des locaux, normal, élevé pour les périodes de suroccupation ou de besoin d'évacuation d'une pollution spécifique (cuisine par exemple), et parfois une allure pour l'été avec by-pass de l'échangeur (voir ci-après). Les moteurs à courant continu permettent une variation électronique de vitesse, pour s'adapter aux plages de fonctionnement, et au réseau installé.

La commande peut se faire par l'intermédiaire d'un interrupteur manœuvré par l'utilisateur, ou d'un tableau de commande à placer généralement dans le séjour. Un certain nombre de produits permettent également de programmer différents types de fonctionnement avec une horloge.

Le dégivrage

La plupart des centrales comportent un dégivrage électrique pour éviter l'apparition de givre sur l'échangeur lorsque les conditions le rendent possible (air extrait humide échangeant avec de l'air neuf très froid). Il est la plupart du temps possible de coupler l'arrivée d'air neuf à des conduits enterrés (puits canadien), ce qui permet d'assurer une température minimum d'air en entrée de l'échangeur en hiver (et de se passer de ce fait d'un système de dégivrage) et de rafraîchir l'air neuf en été.

Beaucoup de produits peuvent également intégrer en option le passage de l'air soufflé sur des batteries électriques ou à eau chaude, après l'échangeur, pour assurer des températures plus élevées et contribuer au chauffage.

Le by-pass en été

En été, et parfois en demi-saison, il n'est pas toujours nécessaire de récupérer l'énergie de l'air extrait pour l'air soufflé, par exemple lorsqu'on souhaite profiter d'une faible température extérieure pour rafraîchir le local sans chauffer l'air neuf par l'air extrait. Certaines centrales sont donc équipées d'un by-pass pour éviter l'échangeur de chaleur (ce qui permet également de diminuer les pertes de charge et éventuellement d'augmenter les débits). Suivant les modèles, le by – pass peut être une cassette à installer dans la centrale par l'utilisateur à l'arrivée des beaux jours, ou être déjà intégré dans la centrale. Dans ce cas, il peut être actionné par un interrupteur, ou pour les modèles les plus perfectionnés, être actionné de façon automatique en fonction de la température extérieure.

Le prix

Il est globalement difficile de trouver les prix des produits. Quelques constructeurs donnent des prix sur leur site internet : ainsi PAUL vend ses centrales de 1770 à 4450 euros suivant les modèles ; MAICO les propose de 2480 à 6130 euros. Les gammes de prix sont larges.

Les centrales doubles flux haute efficacité avec un échangeur statique identifiés semblent plus nombreuses que les centrales double flux haute efficacité avec un échangeur rotatif. Certains produits sont vendus par des sociétés différentes, sous des noms différents. Le marché est en pleine évolution, avec des produits qui apparaissent et qui disparaissent, du fait du contexte réglementaire et énergétique. Ces produits figurent aussi de plus en plus au catalogue de fabricants de chaudière.

LES SYSTEMES DOUBLE FLUX LOCAUX OU DECENTRALISES

Les systèmes de ventilation mécanique locaux sont destinés à ventiler une seule pièce, par opposition aux systèmes de ventilation centralisée destinés à ventiler un ensemble de pièces.

Ces systèmes paraissent être destinés à des pièces de vie (chambres, salon, salle à manger), mais la façon dont les pièces techniques sont ventilées n'est alors pas très claire.

On peut aussi assurer un certain balayage du logement avec plusieurs appareils dont les débits sont individuellement déséquilibrés, mais pour lesquels la somme des débits extraits est égale à la somme des débits soufflés.

Ces systèmes de ventilation mécanique locaux sont à double flux avec récupération de chaleur, c'est-à-dire assurent à la fois le soufflage et l'extraction d'air, avec un échange de chaleur entre air extrait et air neuf permettant une récupération d'énergie.

On distingue les systèmes selon deux types :

- systèmes destinés à assurer la ventilation seule,
- systèmes de ventilation couplés à un appareil de chauffage (résistances électriques ou radiateur à eau chaude).

Système de ventilation seule

On peut noter le caractère très compact de ces appareils, bien illustré par les photographies montrant l'intérieur de l'appareil Meltem. A noter aussi le prix catalogue annoncé pour certains produits, de l'ordre de 700 à 900 euros. Les efficacités de récupération annoncées sont comprises entre 50 et 75%.

On peut se demander si tous les appareils présentés sont réellement industrialisés et fabriqués. Dans certains cas, les éléments disponibles conduisent à penser qu'il peut s'agir d'appareils encore virtuels ou de démonstration.

Enfin, on remarquera que le soufflage et l'extraction d'air sont toujours extrêmement proches l'un de l'autre ; on peut vraiment s'interroger sur la capacité de ces appareils à ventiler correctement l'ensemble de la pièce qu'ils équipent : des courts-circuits sont à craindre, que ce soit du côté intérieur, avec une partie de l'air extérieur qui est susceptible d'être extrait directement sans rentrer vraiment dans la pièce, ou du côté extérieur, avec l'air extrait qui peut être repris comme air extérieur.

Système de ventilation et de chauffage

Le chauffage est assuré par la présence de résistances électriques ou le couplage avec un radiateur à eau chaude. Ce dernier peut être intégré complètement à l'appareil ou être rapporté devant le système de ventilation. Tous les appareils sont munis de deux ventilateurs, l'un pour l'air neuf et l'autre pour l'air extrait. On notera le prix catalogue annoncé par exemple pour les appareils Olsberg, de l'ordre de 800 à 1100 euros.

Comme au paragraphe précédent, on peut se demander si tous les appareils présentés sont réellement industrialisés et fabriqués. Dans certains cas (Paul), les éléments disponibles conduisent à penser qu'il peut s'agir d'appareils encore virtuels ou de démonstration.

CERTIFICATION

DIBt

En Allemagne, la certification des produits de construction est régie par des lois promulguées par chacune des régions ("Länder") et qui reprennent le contenu d'un texte de référence établi au niveau fédéral ("Musterbauordnung" = modèle de règlement sur la construction). L'article 17 de ce modèle de règlement (et les articles correspondants dans les lois de chacun des Länder) exige que les produits de construction portent la marque Ü, prouvant qu'ils sont agréés. Cet agrément repose sur leur examen technique et sur un référentiel établi par le DIBt ("Deutsches Institut für Bautechnik"), assisté par un comité d'experts. Cette procédure s'apparente ainsi à la procédure des avis techniques français.

Les référentiels techniques utilisés pour l'agrément des appareils de ventilation mécanique avec ou sans récupération de chaleur et centralisés [22] ou décentralisés [23] évaluent leurs performances énergétiques en fonction de la réglementation thermique allemande (EnEV). Ces référentiels sont basés sur les résultats d'un projet de recherche mené en 1996 par l'Université de Dortmund, modifié en 2003 par le DIBt et le comité d'experts pour tenir compte de la nouvelle réglementation thermique allemande EnEV.

En plus de ces essais destinés à l'agrément technique des appareils de ventilation, un laboratoire comme le laboratoire IKE de l'Université de Stuttgart propose d'autres essais au choix de ses clients :

- - Essais acoustiques selon EN ISO 3744,

- - Essais de performances selon EN 13141-7 et 13141-8,
- - Essais d'efficacité de récupération de chaleur selon EN 308,
- - Essais de l'éventuelle PAC selon l'EN 255,
- - Visualisations par thermographie infrarouge pour l'examen de l'isolation thermique de l'enveloppe de l'appareil,
- - Essais de diffusion d'air dans un local,
- - Essais en vue de la certification par le Passivhaus Institut.

Passivhaus geeignete Komponente

Le Passivhaus Institut a créé son propre système de certification "Passivhaus geeignete Komponente". Cette certification s'applique aux produits tels que les fenêtres, les isolants, les portes, les vitrages et les centrales de ventilation double flux.

Pour les centrales double flux, les exigences portent entre autre sur :

- - La récupération de chaleur pour des débits équilibrés, pour une température extérieure comprise entre -15 et +10°C et un air extrait de 21°C, doit être supérieure à 75% ;
- - La puissance spécifique des ventilateurs doit être inférieure à 0,45 W/(m³/h) pour le débit d'air nominal,
- - Les débits de fuites internes et externes ne doivent pas dépasser 3% du débit de la centrale.

D'autres paramètres considérés sont niveau de bruit, l'aspect hygiénique de l'appareil et le fonctionnement du dégivrage.

Le Passivhaus Institut a défini dans un document les conditions des points d'essais (qui semblent proches, voire les mêmes que ceux de l'agrément).

Plusieurs produits sont actuellement certifiés.

HORIZON TEMPOREL

Les produits de ventilation double flux présents notamment sur le marché allemand paraissent aboutis et fiables, et une grande partie d'entre eux sont certifiés par le DIBt. Néanmoins, même si le marché a connu un essor considérable, l'utilisation des systèmes de ventilation double flux dans les logements allemands notamment est encore très récente, et on connaît actuellement peu de retour de leur fonctionnement sur site. De plus, le nombre d'industriels fabricants présents sur le marché est encore très variable d'une année à l'autre, nombre d'entre eux disparaissant rapidement alors que d'autres apparaissent, ce qui montre que ces systèmes ne sont pas encore matures. En outre, les niveaux de prix atteints sont pour certain complètement rédhitoires.

Les centrales double flux haute efficacité et les systèmes double flux locaux peuvent donc être considérés comme des innovations émergentes.

CHAMP D'APPLICATION

Centrales double flux haute efficacité

Les centrales double flux haute efficacité sont destinées aux bâtiments dont l'étanchéité à l'air est particulièrement bonne, afin que leur intérêt énergétique ne soit pas dégradé par un renouvellement d'air parasite. Les maisons passives et à faible consommation d'énergie, qui respectent des exigences sur l'étanchéité du bâtiment sont donc directement concernées.

Pour les bâtiments classiques, cet aspect limite l'utilisation des centrales double flux aux bâtiments neufs, sauf si une rénovation lourde sur un bâtiment existant permet d'atteindre un très bon niveau d'étanchéité à l'air. De plus, la place nécessaire au passage des conduits et à l'installation de la centrale est une contrainte forte. A noter également que la consommation énergétique des bâtiments neufs est soumise à des contraintes réglementaires, mais ce n'est pas encore le cas des bâtiments existants: le marché est donc moins important, et par conséquent l'offre moins grande.

Plusieurs type de bâtiments peuvent être concernés : la maison individuelle bien sûr, mais également les logements collectifs (système par appartement), les commerces, les petits bâtiments de bureaux (au-delà de certains niveaux de débit, les systèmes ne sont pas les mêmes).

Double flux locaux

Les double flux locaux sont destinés en priorité aux bâtiments en rénovation, du fait de leur souplesse d'installation, et de leurs plus faibles performances. Certains appareils très complexes sont destinés à la construction neuve. Ils peuvent être installés dans tout type de bâtiment, même si leur marché concerne plutôt le logement, maisons individuelles et logements collectifs.

IMPACTS

Consommation d'énergie

Les centrales double flux ont une puissance très variable suivant les débits qu'elles peuvent assurer, la technologie de moteur et le type d'échangeur. Les puissances sont globalement comprises dans une fourchette allant de 40 à 200W, soit 400 à 1700 kWh de consommation d'électricité par an en fonctionnement permanent.

Pour les systèmes double flux décentralisés avec récupération de chaleur, leur consommation est comprise entre 4 et 40W. Il est difficile de calculer une consommation à l'année parce que ces produits ne sont généralement pas destinés à fonctionner en permanence. Il ne faut pas oublier que plusieurs systèmes sont nécessaires pour assurer correctement la ventilation d'un logement.

Contenu environnemental

Il n'existe à notre connaissance pas d'éléments publiés sur le contenu environnemental des systèmes double flux.

Le CETIAT a mis au point en 2005 un outil simplifié d'analyse du cycle de vie des équipements de chauffage, ventilation et conditionnement d'air [25]. Cet outil a été appliqué sur un caisson de VMC simple flux, et les résultats ont montré que la partie utilisation du système (consommation électrique du moteur) représentait environ 80% des impacts environnementaux.

Les caissons de ventilation double flux comportent beaucoup plus de matière que les caissons simple flux du marché français, mais ont une consommation électrique (deux moteurs, plus de pertes de charge dues à l'échangeur, aux filtres...) nettement supérieure. On peut estimer que les impacts environnementaux d'un système double flux sont donc également dus à plus de 80% à cette consommation électrique. Cette estimation concerne le caisson double flux seul et ne prend pas en compte les économies réalisées sur les besoins de chauffage du fait de la récupération de chaleur.

Conception du bâtiment (neuf) et son usage

Pour les centrales double flux, le bâtiment doit permettre le passage des conduits de soufflage et d'extraction. Il doit de plus être suffisamment étanche pour que le renouvellement d'air parasite ne perturbe pas le fonctionnement de la centrale et ne pénalise pas son intérêt énergétique (les bâtiments ventilés par un système double flux ont une pression à l'intérieur du bâtiment proche de celle de l'extérieur, et sont donc plus sensibles aux effets de vent : le débit d'air traversant peut donc être élevé).

La perméabilité à l'air des maisons passives doit être inférieure à 0,6 vol/h sous 50 Pa (cela correspond environ à 0,2 m³/h/m² sous 4 Pa, pour un rapport volume/surface = 2). De façon moins extrême, il est recommandé d'avoir une perméabilité inférieure à 1,5 vol/h sous 50 Pa (environ 0,5 m³/h/m² sous 4 Pa) pour installer une centrale double flux.

Le dimensionnement du réseau doit être correctement fait pour que la centrale assure les débits visés, sans trop de pertes de charge.

L'avantage des systèmes double flux locaux est la souplesse d'utilisation, puisque seul un emplacement sur un mur extérieur est à prévoir. Certains appareils sont néanmoins très volumineux.

C.8.3 MISE EN ŒUVRE

FIABILITE DE LA MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER

Les centrales double flux sont des composants génériques, adaptés au chantier. Seules les différentes parties du réseau doivent être installées de façon spécifique à chaque bâtiment.

Pour tous les systèmes concernés par cette étude, il n'existe a priori pas de difficultés particulières d'implémentation et d'intégration dans les bâtiments. Aucune compétence particulière, autre que celles que doit normalement avoir un installateur en ventilation, n'est a priori nécessaire pour l'installation des centrales double flux et de systèmes décentralisés.

L'installateur doit néanmoins bien connaître le produit qu'il installe, et la mise en oeuvre, comme pour tout système de haute technologie, doit être naturellement soignée pour permettre le maximum d'économie d'énergie et le bon fonctionnement du système : les réseaux doivent être étanches, les bouches de soufflage et d'extraction correctement raccordées...

L'enquête réalisée en 2003 par le TZWL auprès des fabricants et distributeurs de systèmes de ventilation [14] montre qu'au moins 18 sociétés proposent des formations pour les installateurs. Dans le cadre de l'association MINERGIE, des formations axées sur la ventilation (conception, installation, exploitation) ont lieu régulièrement en Suisse.

A noter que les installateurs en Allemagne notamment sont réputés pour être mieux formés et plus qualifiés que leurs homologues français.

SPECIFICITE DE MISE EN ŒUVRE

Compte tenu des remarques faites dans le paragraphe précédent, l'installation d'une centrale double flux ou d'un système local dans un bâtiment neuf ou en rénovation lourde peut être considérée comme de difficulté normale.

Une publication lors du congrès des maisons passives de 2005 [26] attire néanmoins l'attention sur des difficultés d'installation de systèmes de ventilation dans des bâtiments passifs rencontrés dans la région Nordrhein-Westfalen, par manque de connaissance des produits de la part des installateurs : ces difficultés ont été aisément levées avec l'aide des fabricants, montrant ainsi la nécessité de formation.

MODALITES DE GESTION, D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

Pour les centrales double flux, l'entretien et la maintenance se traduisent principalement par :

- 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 ;

- Changer les filtres lorsque l'indicateur de colmatage (quand il y en a un) le signale, ou à intervalles réguliers variables suivant la classification du filtre (une fois par an pour un filtre G4, quelques mois pour un filtre très performant).

Ces différentes actions peuvent être réalisées par l'utilisateur.

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

Sur le site de l'association pour la ventilation des logements [18], on peut voir pour chaque industriel l'étendue de l'offre qu'il propose :

- 32 sociétés sur 36 aident au dimensionnement (choix du produit suivant les caractéristiques du logement) ;
- 6 sociétés assurent le montage de leur produit ;
- 30 sociétés aident à la mise en service de leur produit ;
- 28 assurent un service après-vente.

Ces informations ne précisent pas les modalités (conditions, coûts...) de ces services. A titre d'exemple, la société PAUL-LÜFTUNG facture 290 euros l'aide au choix du système adapté au logement.

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 [28, 29,30,31], ainsi que d'informations complémentaires obtenues par le CETIAT.

Allemagne

Réglementation

La première incitation réglementaire en Allemagne est la réglementation thermique EnEV [32].

La réglementation thermique allemande EnEV "Energieeinsparverordnung" remplace depuis le 1er février 2002 deux réglementations : Wärmeschutz-Verordnung (WSchV 95) et Heizungsanlagen-Verordnung. Elle a été complétée en 2004, et sera modifiée fin 2006 pour s'adapter aux directives européennes (en prenant notamment en compte l'éclairage dans les calculs).

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/m²/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 (consommations électriques des 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.

La valeur de l'efficacité de récupération de chaleur prise en compte dans le calcul provient du constructeur.

Financement

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

- La banque KfW [33] gère un programme d'aide au financement appelé "Construire écologique" (Ökologisch Bauen) 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 50 000 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 financés par 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.

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 [34]. 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".

Pays-Bas

Réglementation

La réglementation thermique néerlandaise date de 1996 et impose le calcul de l'EPC, Energy Performance Coefficient, qui corrige la consommation d'énergie du bâtiment par le volume et la somme des surfaces déperditives de ce bâtiment. Cet EPC doit être inférieur à une valeur de référence valable pour tous les bâtiments.

Elle prend en compte de façon relativement détaillée le poste ventilation dans les calculs de performance énergétique des bâtiments. Ces calculs sont dans une large mesure basés sur des facteurs de corrélation qui ont

été déduits de mesures et de calculs avec un modèle détaillé. L'étanchéité des conduits n'est pas prise en compte dans les calculs. Pour l'efficacité de récupération de chaleur, la valeur à utiliser dans les calculs est une valeur par défaut ou une valeur résultant d'un essai selon une norme nationale. La puissance des ventilateurs est une valeur par défaut, discriminant les moteurs à courant alternatif et à courant continu en favorisant ces derniers.

La valeur de l'EPC max est régulièrement renforcée, elle est ainsi passée de 1,6 en 1996 à 0,8 tout récemment en 2006. Les systèmes de ventilation double flux haute efficacité connaissent un fort développement depuis la mise en place de cette réglementation thermique (voir §5.4.2).

Financement

Aucun organisme aux Pays-Bas ne propose d'aides financières pour l'installation d'un système de ventilation double flux.

Belgique

Réglementation

Il existe deux réglementations thermiques différentes pour la Flandre et la Wallonie en Belgique.

En ce qui concerne la réglementation thermique de la région Flandre, la récupération de chaleur est prise en compte ; l'efficacité de récupération doit être caractérisée suivant la norme EN 308, mais est pénalisée de 15% si les débits soufflés et extraits mis en œuvre ne sont pas équilibrés. La puissance totale réelle des ventilateurs est prise en compte dans le calcul de performance énergétique. Pour la perméabilité du bâtiment, des valeurs par défaut sont utilisées.

Un des rapports du projet européen ENPER-TEBUC montre que l'essor des systèmes double flux en Belgique suite à la réglementation thermique n'a pas été aussi fort qu'aux Pays-Bas. Le prix est encore trop dissuasif

Les trois régions (région flamande, région wallonne, et région de Bruxelles-Capitale) de la Belgique disposaient lors de la publication de la directive performance énergétique des bâtiments en 2003 chacune de leur réglementation thermique, couvrant des domaines différents. La ventilation n'était pas prise en compte dans tous ces textes.

Une certaine mise à niveau a donc dû être prévue, déjà en place en région flamande mais en cours dans les autres régions ; les trois régions disposeront toujours d'une réglementation différente. Des outils communs vont tout de même être mis en place.

Financement

De la même façon que pour les textes réglementaires, les aides de financement sont différentes suivant les régions belges. La région wallonne propose actuellement et jusqu'à fin 2007 une prime de 75% du montant de l'investissement (TVA comprise) avec un maximum de 1500 euros pour l'installation d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur haute efficacité [35].

Les critères sont :

- le niveau d'isolation thermique globale de l'habitation, qui doit être inférieur à une valeur limite (il s'agit de maisons mieux isolées que ce qui est strictement requis par la réglementation) ;
- le chauffage du logement ne doit pas être électrique ;
- le logement ne doit pas être équipée d'un système d'air conditionné électrique ;
- le système de ventilation doit être un système de ventilation mécanique contrôlée double flux avec récupération de chaleur au moyen d'un échangeur de chaleur à contre-courant ;
- l'échangeur thermique doit avoir un rendement minimum de 85% suivant la norme EN 308 ;

- l'installateur doit mesurer, in situ, les débits en sortie et en entrée des différentes bouches de soufflage et d'extraction afin d'assurer le réglage adéquat de l'installation ;
- l'installation doit être réalisée par un entrepreneur enregistré auprès du Service public fédéral des Finances belge.

La Région flamande et la Région de Bruxelles-Capitale ne proposent pas de prime pour la ventilation. L'état fédéral n'a pas non plus pris en compte la ventilation dans les réductions d'impôts accordées dans le cadre des économies d'énergie.

C.8.4 EVALUATION DES RESULTATS DANS LE PAYS CONCERNE

On a pu voir dans ce rapport que les systèmes de ventilation double flux, qu'ils soient centralisés ou décentralisés, ne sont pas réservés aux maisons passives. On trouvera néanmoins dans cette partie presque exclusivement des résultats obtenus sur cette catégorie de bâtiment, du fait du grand nombre de publications existantes (en particulier provenant du congrès annuel des maisons passives).

Dans le cadre d'un projet du programme "Haus der Zukunft" (la Maison du Futur), financé par le Ministère fédéral autrichien de la Recherche, de l'Innovation et des Technologies, une évaluation technique des systèmes de ventilation a été réalisée sur site, dans 92 maison autrichiennes. Le projet a été terminé en 2004 [36].

Les systèmes de ventilation étaient tous des systèmes double flux, installés dans des maisons passives ou à faible consommation d'énergie. L'objectif de l'étude était d'identifier les bonnes et mauvaises pratiques, et d'établir une liste de critères à respecter pour avoir un fonctionnement correct du système. L'évaluation a été menée sous la forme de questionnaires, d'examen et de mesures sur site.

Les problèmes les plus fréquents, liés à la conception globale du système ont été :

- L'étanchéité à l'air du bâtiment n'a pas été vérifiée ou son importance a été sous-évaluée ;
- Les problèmes de bruit du système dus à un mauvais dimensionnement du réseau, des pertes de charge de filtres trop élevées, des conduits de trop petits diamètres ou à l'absence de silencieux. En réponse à ces problèmes de bruit, les utilisateurs ont tendance à diminuer les débits, au détriment de la qualité du renouvellement d'air ;
- La mauvaise circulation de l'air dans le logement ;
- Problèmes de régulation des débits d'air ;
- Débits d'air insuffisants dans les chambres, la cuisine et la salle de bain ;
- L'influence de la ventilation sur la combustion ;
- Les rejets de fumée ou de hotte de ventilation influencent le système de ventilation ;
- Les bouches de soufflage et d'extraction sont mal dimensionnées ou mal placées.

Les erreurs liées à un élément du système les plus fréquentes sont :

- Bouches d'extraction avec trop de pertes de charge,
- Pas de rejet des condensats,
- Pas d'isolation des conduits "chauds" (air repris et air soufflé) dans les zones non chauffées (caves, combles),
- Qualité de filtration insuffisante et mauvaise maintenance des filtres,
- Les centrales non autoréglables ne sont pas équilibrées (c'est parfois aussi le cas des centrales autoréglable),
- Absence de témoin pour indiquer le changement des filtres,

- Absence ou insuffisance de silencieux acoustiques,
- Diamètres des conduits insuffisants (ce qui engendre des vitesses d'air élevées),
- Conduits non appropriés (conduits souples au lieu de conduits rigides).

Les résultats de l'enquête auprès des utilisateurs sont dans le §5.3.

LES PERFORMANCES

Energie

L'évaluation sur site des systèmes double flux n'est pas facile puisque les déperditions par renouvellement d'air ne sont pas différenciables des déperditions par les parois. De plus, une comparaison stricte nécessiterait deux bâtiments identiques (mêmes caractéristiques de parois, même climat extérieur) avec pour seule différence le système de ventilation. Aucune publication traitant directement du système de ventilation n'a pu donc être trouvée.

Au niveau des performances des produits, les fabricants annoncent traditionnellement l'efficacité de récupération de chaleur de l'échangeur seul, parce que c'est la valeur la plus élevée et donc la plus intéressante commercialement.

La méthode de test utilisée pour la certification allemande détermine l'efficacité de la centrale, c'est-à-dire en prenant en compte les fuites internes et externes, les déperditions de l'enveloppe, et la récupération ou non des pertes liées aux ventilateurs suivant leur position. Cela permet de définir une efficacité globale du produit.

Mais en fonctionnement sur site, l'efficacité du système dans son ensemble va dépendre de plusieurs autres aspects :

- Des pertes par les réseaux : elles vont être fonction du type de conduits, de leur nombre et de leur longueur, ainsi que de leur étanchéité.
- Du temps de fonctionnement en mode dégivrage nécessaire, et du système de dégivrage : un dégivrage électrique fréquent va entraîner une augmentation de la consommation électrique du système ; un dégivrage assuré par un puits canadien n'entraînera pas de consommation électrique supplémentaire, mais le système devra fournir une pression supérieure.
- De l'étanchéité à l'air du bâtiment (voir à ce sujet le §3.5.3) : si le bâtiment est perméable et que le débit de traversant est important par rapport au débit de ventilation assuré par le système, les économies d'énergie en valeur absolue seront bien celles prévues, mais elles ne représenteront qu'une faible partie des déperditions par renouvellement d'air totales.
- De la qualité de l'installation et de la programmation du système.

Stabilité, Sismique, Feu

Il n'a pas été trouvé d'éléments sur la caractérisation des systèmes double flux dans ces domaines.

Confort thermique et acoustique

Quelques publications font état de ressenti d'un air trop sec dans une maison ventilée avec un système double flux.

L'enquête dans le cadre du programme "Haus der Zukunft" [36] montre que les utilisateurs ne sont pas gênés par les problèmes acoustiques. Néanmoins, les mesures sur site ont montré que les débits étaient souvent insuffisants, parce que les utilisateurs faisaient fonctionner leur système en dessous du régime nécessaire, diminuant par là le niveau de bruit engendré.

Sanitaire

Quelques règles de bonne pratique

Du point de vue sanitaire, l'installation d'un système de ventilation double flux 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,
 - présence d'un système spécifique d'évacuation des condensats,
- les conduits aérauliques dans le logement doivent être accessibles pour le nettoyage,
- l'évacuation des condensats doit être prévue sur l'échangeur,
- ...

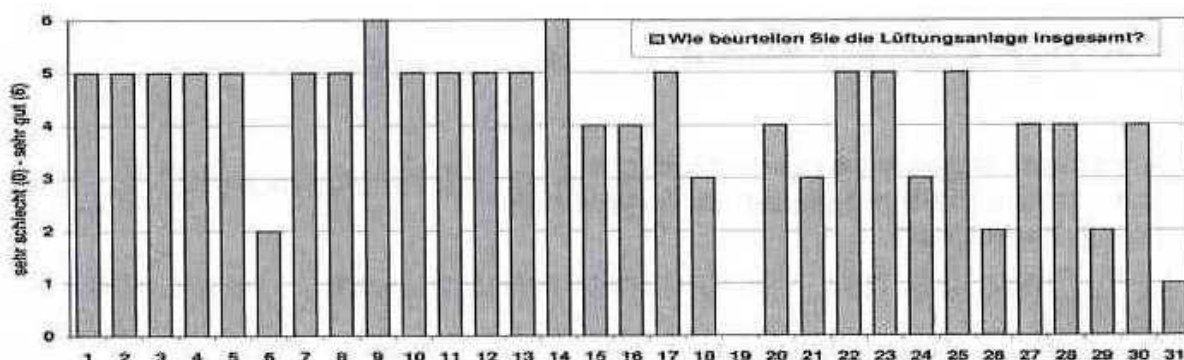
La qualité d'air intérieur (QAI) dans les maisons passives

Plusieurs publications du congrès des maisons passives de 2003 donnent les résultats d'enquêtes effectuées auprès d'occupants de maisons passives, notamment sur leur perception de la QAI. On ne connaît malheureusement pas en détail le type de systèmes de ventilation installés : il est seulement établi que ce sont des systèmes avec récupération de chaleur.

Dans le cadre de la publication [37], qui porte sur les motivations des personnes à habiter dans une maison passive, 26 occupants de maisons passives ont répondu à un certain nombre de questions, dont l'une sur leur perception de la QAI. La QAI est perçue comme bonne par 50% d'entre eux et très bonne par 46% ; 5% la trouvent moyenne.

La publication [38] porte sur les réponses de 73 occupants : la QAI est notée à la valeur 5 dans les chambres et à 5,5 dans le salon sur une échelle allant de 1 (très mauvais) à 6 (très bon).

La référence [39] a demandé aux occupants de 31 maisons passives HLM de juger leur système de ventilation mécanique, sur une échelle allant de 0 (très mauvais) à 6 (très bon). Les systèmes sont globalement bien jugés ; on a malgré tout 8 notes (sur 31) inférieures ou égales à 3.



Comment jugez-vous votre système de ventilation ? très mauvais : 0 – très bien : 6 [39]

Il ne faut pas perdre de vue que le ressenti des occupants est subjectif, et peut parfois être loin de la réalité. Les campagnes de mesure de qualité d'air dans les maisons passives équipées de systèmes de ventilation double flux que l'on peut trouver dans la littérature ont souvent le défaut d'avoir été menées immédiatement après la

construction des bâtiments, alors que les matériaux de construction relarguent encore des polluants. Les niveaux de polluants alors trouvés dans les maisons n'étaient pas inférieurs à ceux de maisons classiques.

Risques de dégradation des performances après mise en œuvre

Le risque de dégradation des performances thermiques des systèmes double flux est essentiellement lié aux phénomènes d'encrassement des composants :

- échangeur de chaleur : l'efficacité de l'échangeur va être dégradée si les échanges de chaleur se font moins bien ;
- bouches d'extraction et de soufflage, filtres, réseau : l'encrassement de ces composants va entraîner une augmentation des pertes de charge que les ventilateurs ont à combattre, modifiant ainsi leurs points de fonctionnement et pouvant diminuer les débits traités.

De plus, un mauvais entretien des filtres et du puits canadien quand il y en a un peut entraîner de graves problèmes de qualité d'air.

LES COÛTS REELS

Coût Initial – Investissement

Les prix des centrales double flux sont compris dans une large fourchette, allant globalement de 1500 à 7000 euros pour les systèmes les plus perfectionnés. Certaines publications des congrès des maisons passives [26] donnent des ordres de grandeur pour des logements : une moyenne de 6700 euros par logement a été obtenue sur 20 logements en Nordrhein-Westfalen pour un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur supérieure à 80% (installation comprise a priori).

Les prix des double flux locaux, avec ou sans système de chauffage, sont naturellement plus bas, compris dans une fourchette allant de 700 à 1100 euros. A noter que plusieurs systèmes sont théoriquement nécessaires pour assurer le renouvellement d'air d'un logement.

Ces prix ont été obtenus sur internet ; on peut supposer que des remises commerciales peuvent permettre de les diminuer.

A titre de comparaison, la société AEREX vend un système de ventilation par extraction (équivalent à un kit VMC simple flux français, avec conduits, bouches et entrées d'air) 2300 euros pour le produit seul, et 3600 euros étude et installation comprises. Ces chiffres sont beaucoup plus élevés que ceux que l'on peut trouver sur le marché français. En effet, les ordres de grandeurs de prix des kits VMC pour maison individuelle en France sont de quelques centaines d'euros.

Coût Opérationnel - Exploitation – Maintenance

Les coûts opérationnels sont :

- Les coûts liés à la consommation de l'électricité.
- Les coûts liés au changement de filtres.

Le vécu des utilisateurs

Une partie de l'enquête en Autriche auprès des occupants [36] avait pour objectif de connaître leur ressenti par rapport à leur système de ventilation. Les réponses aux questions techniques sont donc subjectives (110 personnes ont été interrogées) :

- 86% des personnes interrogées ont affirmé qu'il n'a pas été difficile d'intégrer le système de ventilation à la conception de la maison, même pour des maisons pour plusieurs familles.

- Les occupants ont l'impression à 96% que les débits de ventilation sont suffisants (rappelons que les mesures sur site associées à ce questionnaire ont montré que les débits étaient la plupart du temps insuffisants).
- 68% des occupants affirment avoir suivi une formation pour l'utilisation de leur système, cette formation se résumant la plupart du temps à une démonstration du changement de filtre par l'entreprise qui a réalisé l'installation.
- 21% des occupants ont déjà fait venir un expert technique (changement de ventilateur, problème de régulation...)
- 39% des occupants considèrent que l'humidité de l'air est trop faible.
- Seulement 7% des utilisateurs considèrent que leur système est trop bruyant. Ce résultat est un peu contradictoire avec les mesures effectuées sur site.
- 82% affirment que l'installation a été correctement faite dès le début.
- 4% seulement des occupants ont remarqué des moisissures dans leur logement depuis l'installation du système de ventilation.

Les occupants se déclarent à 87% satisfaits de leur installation de ventilation.

VITESSE DE DIFFUSION DANS LE PAYS

MARCHE – ALLEMAGNE

La veille menée par le CETIAT ces dernières années montre que les fabricants et les produits du marché évoluent beaucoup d'une année à l'autre : des industriels disparaissent, et sont remplacés par d'autres régulièrement. Le laboratoire TZWL réalise chaque année une étude du marché des systèmes de ventilation [14,40] ; il envoie pour cela un questionnaire auprès des fabricants et des distributeurs des systèmes de ventilation allemands, les réponses sont collectées par un notaire et confidentielles. Le laboratoire TZWL évalue à 90% la part du marché qu'il couvre avec cette étude. Le Tableau ci-dessous donne les chiffres des produits vendus pour chaque catégorie sur trois années différentes, 1999, 2002 et 2003. Des chiffres plus récents ne sont malheureusement pas disponibles.

		ANNÉES	1999	2002	2003
Ventilation décentralisée	Sans récupération		77655	104922	149431
	Avec récupération		4889	9701	10232
	Avec récupération et couplage avec émetteur de chaleur			1546	312
Total des systèmes décentralisés			82544	116169	159975
Ventilation centralisée	Sans récupération		50397	22649	6535
	Avec récupération par échangeur		10119	13900	17153
	Avec récupération par échangeur et/ou pompe à chaleur air/air		158	1018	2501
	Avec récupération par échangeur et/ou pompe à chaleur air/eau		1536	3286	3592
Total des systèmes centralisés			62210	40853	29781
Total des systèmes de ventilation			144754	157022	189756
Total des systèmes de ventilation avec récupération de chaleur			16702	29451	33790

Marché allemand des systèmes de ventilation en 2003 (source [14])

Systemes décentralisés, ou locaux :

- Les ventes de systèmes avec chauffage sont en net recul ;

- Les systèmes sans récupération de chaleur (qui incluent les extracteurs simple flux et les double flux) sont en forte hausse.

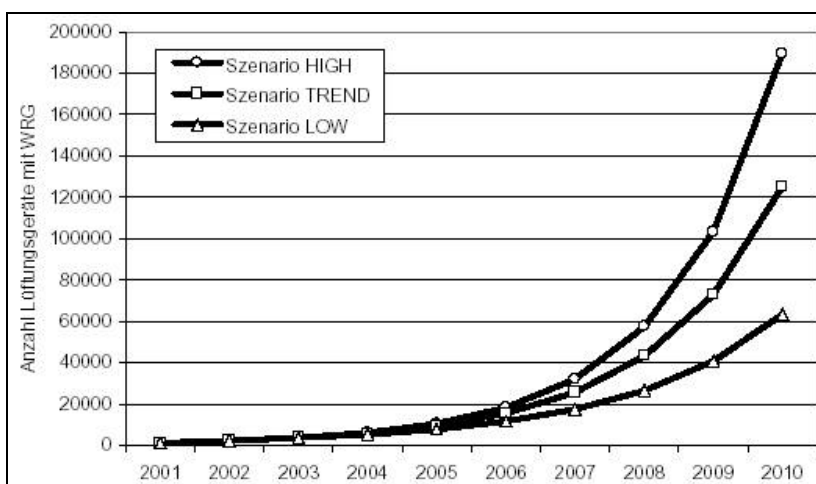
Systemes centralisés :

- La vente des systèmes centralisés est globalement en hausse de 50%.
- Il y a eu une forte baisse des ventes des systèmes de ventilation sans récupération de chaleur (systèmes simple flux).

D'après le TZWL, 42842 systèmes ont été exportés en 2003 dont :

- 37043 sans récupération de chaleur,
- 4009 avec récupération de chaleur,
- 2000 pompes à chaleur.

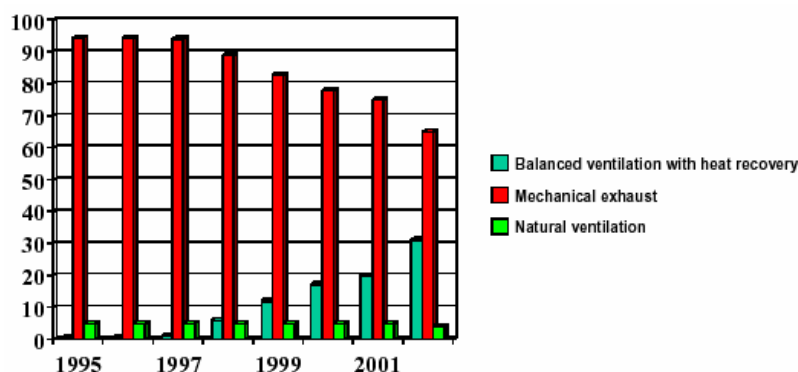
La Figure ci-dessous montre des projections de vente de systèmes de ventilation double flux avec récupération de chaleur d'ici à 2010 dans les bâtiments à faible consommation d'énergie uniquement, en Allemagne [41,42]. Ces projections sont directement liées aux projections d'évolution du nombre de maisons passives ou à faible consommation d'énergie, puisque ce type de bâtiment comporte par définition de la ventilation avec récupération de chaleur.



Scénarios de nombre de système de ventilation double flux avec récupération de chaleur

Marché – Pays-Bas

La réglementation thermique (1996) est un très fort moteur pour l'installation des systèmes double flux haute efficacité dans les bâtiments neufs. La Figure ci-dessous [31] montre l'évolution du taux de pénétration des systèmes de ventilation aux Pays-Bas. Les systèmes traditionnels aux Pays-Bas sont relativement proches des systèmes français, on peut voir que le poids des systèmes double flux est de plus en plus important : il a augmenté de 0,5% en 1995 à 30% en 2002 et 50% en 2003 [43] dans les bâtiments neufs.



Taux de pénétration des systèmes de ventilation aux Pays-Bas

A noter qu'aucune aide financière n'existerait actuellement aux Pays-Bas pour l'installation d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur.

Actions de diffusion

Les syndicats et associations liés aux constructeurs du domaine de la ventilation ont beaucoup d'actions d'information et de communication, souvent en partenariat avec des structures publiques (Ministères fédéraux ou des régions), à destination du grand public et des professionnels du bâtiment :

- Newsletters,
- Guides pratiques [44,45],
- Plaquettes techniques,
- Sites internet documentés,
- Base de données de publications, de projets et de services dans le domaine de la ventilation et du climat intérieur,

C.8.5 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

Grâce à la maîtrise des débits de renouvellement d'air et la présence d'échangeur de chaleur entre le flux entrant et le flux sortant, ces systèmes permettent de réaliser des économies d'énergie.

Il résulte également une bonne qualité d'air grâce aux débits maîtrisés.

Il existe des systèmes de certification de ces produits permettant d'en assurer la qualité. Les produits de ventilation double flux centralisés présents notamment sur le marché allemand paraissent aboutis et fiables, et une grande partie d'entre eux sont certifiés par le DIBt.

Le ressenti des occupants vis-à-vis de la qualité d'air est généralement favorable même si certains se plaignent d'un air trop sec ou de températures trop élevées dans les chambres.

Les systèmes de ventilation double flux locaux semblent bien adaptés à la réhabilitation des bâtiments. Ils ont une grande souplesse d'utilisation.

Au delà du secteur résidentiel individuel, ces systèmes sont adaptés à d'autres type de bâtiments et d'usage : résidentiel collectif, commerces, petits bâtiments de bureaux.

W : Weakness : Faiblesses

Pour en assurer la pérennité dans le temps, ces systèmes nécessitent une maintenance. Le risque de dégradation des performances est fort en cas de manque de maintenance. En présence de filtre ou de puits canadien, il peut en découler de graves problèmes de qualité d'air.

Les installateurs ne connaissent pas encore bien les systèmes.

Ces systèmes doivent être associés à une perméabilité faible du bâtiment pour être efficace, notamment pour la ventilation double flux centralisée. Ceci impose donc une attention à la perméabilité pour les bâtiments neufs ou un traitement spécifique pour les bâtiments existants.

Pour ces systèmes centraux, le marché pour les bâtiments existants est moins important et donc l'offre est moins grande.

Les systèmes par pièces ne sont pas disponibles sur le marché français, les systèmes centralisés y sont confidentiels.

Même si le marché a connu un essor considérable, l'utilisation des systèmes de ventilation double flux dans les logements allemands notamment est encore très récente, et on connaît actuellement peu de retour de leur fonctionnement sur site. De plus, le nombre d'industriels fabricants présents sur le marché est encore très variable d'une année à l'autre, nombre d'entre eux disparaissant rapidement alors que d'autres apparaissent, ce qui montre que ces systèmes ne sont pas encore matures. Dans l'offre des industriels, on peut se demander si tous les appareils présentés sont réellement industrialisés ou fabriqués ou simplement virtuels ou de démonstration.

Ces systèmes restent chers en particulier si on les compare aux couts traditionnels de la ventilation en France.

Pour les systèmes centraux, ils sont volumineux (groupes, conduits).

Pour les systèmes locaux, leur efficacité et leur performance sont mal connues.

O : Opportunities – Opportunités

Le développement de ces systèmes est lié au développement des maisons à faible consommation d'énergie, pour lesquelles l'accent est mis dans le cadre des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2050.

La récupération de chaleur est vécue par certains acteurs comme faisant partie du package obligatoire pour aller vers des bâtiments faiblement consommateurs.

Les Réglementations thermiques en Allemagne et aux Pays-Bas favorisent le développement de ces systèmes.

Il existe des procédures d'aides financières en Allemagne pour la mise en oeuvre de ces systèmes.

Ces systèmes permettent des fonctions complémentaires : filtration de l'air, su ventilation pour le confort d'été. (Voir aussi le rapport unités compactes pour l'association avec le chauffage et le refroidissement).

T : Threats – Menaces

Le faible cout des systèmes de VMC hygro réglables qui peuvent concurrencer les systèmes double flux.

La recherche par certains maitres d'ouvrages de solution de ventilation naturelle et leur volonté d'éviter de s'enfermer dans une monoculture de ventilation mécanique.

Des contre exemples éventuels sur site (liés à des problèmes de dimensionnement, de mise en œuvre ou de manque de maintenance) pourraient constituer une menace pour la valorisation de ces systèmes.

Il n'y a pas de difficulté spécifique à la mise en œuvre de ces systèmes. Néanmoins, Il y a un besoin de familiarisation auprès des installateurs qui, s'il n'est pas résolu (information, formation) pourrait gêner le développement de ces systèmes.

Ces systèmes peuvent être bruyant, ce qui peut induire leur arrêt ou une diminution des débits (lorsqu'il existe plusieurs vitesses de fonctionnement) par l'occupant, entraînant une diminution de la qualité d'air.

POINTS SINGULIERS AU CONTEXTE DU PAYS

Il est à noter que dans les pays mentionnés, les concepts de maison passive et à faible consommation d'énergie sont plus développés qu'en France.

La connotation « écologique » liée à la récupération de chaleur peut recevoir un meilleur accueil dans ces pays où la mentalité écologique est plus développée (ex. : Allemagne)

A noter que les installateurs en Allemagne notamment sont réputés pour être mieux formés et plus qualifiés que leurs homologues français

Contrairement à la France où notamment la VMC est déjà bien développée dans le résidentiel, il n'y a pas de tradition "système de ventilation" dans l'habitat dans les pays considérés. Dans ces pays le développement du double flux se fait conjointement au développement de la ventilation mécanique. C'est en particulier le cas en Suisse où Minergie a introduit le concept de ventilation douce impliquant la mise en œuvre de facto d'un double flux. On a donc l'association « double flux = qualité de l'air ».

C.8.6 CONDITIONS DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

LES CHANCES DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

Le développement de ces systèmes est intimement lié à celui des maisons à très faible consommation d'énergie et des maisons à énergie positive. De plus, ces systèmes sont bien adaptés pour répondre aux exigences de la réglementation thermique française.

Actuellement, la ventilation double flux dans le résidentiel est très peu développée en France. Elle existe surtout dans les petits bâtiments du secteur tertiaire. Il sera important d'inciter les industriels actuels de ce marché à adapter et développer leurs produits pour le secteur résidentiel.

Il existe en France dans le secteur résidentiel une forte tradition de pratique associée à la VMC autoréglable avec un développement important de la VMC hygro-réglable, contrairement aux autres pays.

On peut ainsi imaginer que les systèmes de ventilation double flux rencontreront une concurrence plus forte.

De plus, le coût d'investissement pour ces derniers est beaucoup plus important que pour la VMC.

A un moment où il apparaît à certains que la ventilation double flux est la solution universelle pour les bâtiments basse consommation il sera important de comparer l'efficacité de la ventilation et la consommation énergétique de ces différents systèmes.

Dans ce cadre on pourra noter par exemple que dans les projets concerto de la ville de Lyon des bureaux d'études proposent d'utiliser des systèmes hygro-réglables alors que d'autres sont plutôt porteurs de la solution ventilation double flux universelle.

Plus généralement on peut dire que les deux voies pour maîtriser la consommation d'énergie liées à la ventilation sont d'une part la gestion des débits (hygroréglable, détection de présence, CO₂) et d'autre part la récupération de chaleur via des systèmes double flux.

La première voie est mieux adaptée aux cas où l'occupation est brève, fortement variable et où le climat est doux. La seconde voie s'applique mieux aux cas où l'occupation est longue, constante et où le climat est rude.

Il s'agit de définir les meilleurs compromis en fonction des domaines d'application. On notera bien évidemment que ces voies ne sont pas forcément exclusives, les systèmes double flux avec 4 débits de fonctionnement étant déjà une tendance à associer les deux approches.

COMPATIBILITE AVEC LE CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF FRANÇAIS

La mise en œuvre de la ventilation double flux doit être passée au filtre réglementaire mais est a priori tout à fait compatible.

Cependant on peut noter que les systèmes à 4 débits pourraient ne pas être strictement conformes au règlement d'hygiène actuel.

Des questions plus aigües peuvent se poser pour le double flux décentralisé.

QUELLE DYNAMIQUE D'ACTEURS NÉCESSAIRE

Une grande partie des éléments décrits dans le document sur les unités compactes sont également applicables ici. On se référera à ce document.

En ce qui concerne spécifiquement les systèmes double flux, il est important de différencier les systèmes centralisés plus adaptés à la construction neuve et les systèmes par pièce plus adaptés à la réhabilitation.

Systemes centralisés.

Plusieurs industriels de la ventilation disposent du savoir faire pour mettre au point des systèmes de ventilation double flux centralisés principalement pour les bâtiments tertiaires. Il existe déjà sur le marché français quelques produits de ventilation double flux adaptés au résidentiel. Leur marché est cependant marginal.

Le développement du marché de ces produits et leurs évolutions passe par une mobilisation des acteurs qui les prescrivent et de la maîtrise d'ouvrage. On peut penser que le discours actuel très fort sur la ventilation double flux peut aider à cette mobilisation.

On manque aujourd'hui de documents destinés aux équipes souhaitant mettre en place de tels systèmes notamment dans l'habitat. Par exemple, il n'y a pas d'équivalent aux DTU de dimensionnement et de mise en œuvre des systèmes VMC (DTU 68.1 et DTU 68.2) pour la ventilation double flux.

Systemes par pièce.

Certains industriels commencent à développer des produits décentralisés notamment pour les écoles. Il sera important pour ces derniers d'adapter et de développer leur savoir faire notamment au contexte des bâtiments résidentiels.

On est cependant sur ces systèmes nettement moins avancé que sur les systèmes centralisés. Il apparait en particulier indispensable de faire des analyses sur l'efficacité en terme à la fois de récupération de chaleur et de qualité de l'air sur ces systèmes.

Sur le plan du domaine d'application le principe de ces systèmes apparaît comme très séduisant en particulier pour la réhabilitation.

Pour ces systèmes il semble donc qu'une phase préalable de caractérisation soit indispensable avant d'aller vers un déploiement large.

DISPONIBILITE EN FRANCE DES COMPETENCES DE POSE.

Il n'y a pas de difficulté spécifique à la mise en œuvre de ces systèmes. Néanmoins, il n'existe pas en France d'installateur spécialisé dans la ventilation. L'installation de la ventilation est donc en général réalisée par différents corps de métiers à différents stade de la construction. Le problème se posera de façon au moins aussi fort pour l'installation des systèmes double flux. Il y aura donc un besoin de familiarisation auprès des installateurs de ces systèmes.

QUELS TYPES D'INCITATIONS ENVISAGER

Réglementation Technique

Le durcissement de la réglementation thermique conduira au développement des maisons à très faible consommation d'énergie.

Les systèmes de ventilation hygroréglables sont aujourd'hui la référence pour la RT2005. On peut se demander si à l'échéance 2010 on pourrait intégrer du double flux en référence. Cela imposerait que soit d'abord comme indiqué ci-dessus, comparés précisément les performances respectives de ces deux types de systèmes.

Fiscalité, Financement, Soutien des Collectivités locales

Le coût d'investissement sur ces produit sera un point de blocage important, d'autant qu'ils seront en concurrence avec la VMC qui est beaucoup moins chère. Leur prise en compte dans les systèmes de déductions fiscales pourrait limiter ce problème.

L'apparition du double flux dans les solutions type qui seraient développées pour des labels comme celui en préparation par Effinergie pourrait favoriser ce développement du marché.

REFERENCES

- [1] Durier F., Bernard AM. – Centrales de ventilation double flux à haute efficacité : les produits disponibles sur le marché allemand – CETIAT NTV 2003/017, avril 2003
- [2] Tissot A., Durier F. - Centrales de ventilation double flux haute efficacité : les produits disponibles sur le marché allemand, mise à jour de la NTV 2003/017 – CETIAT NTV 2004/053, novembre 2004
- [3] Durier F. – Ventilation mécanique répartie double flux : les produits disponibles sur le marché allemand – CETIAT NTV 2003/059, Octobre 2003
- [4] Systèmes de chauffage et de ventilation innovants, journée technique CETIAT, 6 septembre 2005
- [5] Guédel A., Morin JM, Froidevaux Y., Salazar JH – Détermination des performances des centrales double flux à haute efficacité, rapport intermédiaire – CETIAT NTV 2002/008, Janvier 2002
- [6] Site internet de la DGEMP (Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières) : <http://www.industrie.gouv.fr/energie/sommaire.htm>
- [7] Site internet de l'Institut des maisons passives "Passivhaus Institut" : <http://www.passiv.de/>
- [8] Site internet de l'association d'information sur les maisons passives "IG Passivhaus" : <http://www.ig-passivhaus.de/>
- [9] Site internet du Fraunhofer Institut Solare Energiesystem : www.ise.fhg.de
- [10] Site internet de l'Ecole supérieure des deux Bâle : <http://www.fhbb.ch/index.php>
- [11] Site internet de l'Ecole supérieure Technique et d'Architecture de Lucerne www.hta.fhz.ch
- [12] Site internet de l'institut de recherche EMPA (Sciences et Technologie des Matériaux) : www.empa.ch
- [13] Site internet de l'Institut du Logement et de l'Environnement de la région de Hesse et de la ville de Darmstadt : www.iwu.de
- [14] TZWL – Notarumfrage Wohnungslüftung 2005 - Prof. Dipl.-Ing P.Müller - 16.03.2005, 6 pages
- [15] Site internet du TZWL (Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte, centre d'essais européen pour les systèmes de ventilation des logements) : www.tzwl.de
- [16] Site internet de l'IKE (Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Institut pour l'Energie nucléaire et les systèmes d'énergie), Université de Stuttgart : <http://www.ike.uni-stuttgart.de/>
- [17] Site internet "Frischluftechnik im Wohnungsbau" (Techniques de renouvellement d'air dans l'habitat) : www.frischluftechnik.de
- [18] Site internet "Verband für Wohnungslüftung e.V." (Association pour la Ventilation des Logements) : www.wohnungslueftung-ev.de
- [19] Site internet "Kompetenzzentrum für Wohnungslüftung" (Centre de compétences pour la ventilation des logements) : www.kompetenzzentrum-wohnungslueftung.de
- [20] Site internet Fachinstitut Gebäude-Klima (Institut pour le climat intérieur) : www.fgk.de

- [21] Site internet du groupe de travail "ventilation contrôlée" du Fachinstitut Gebäude-Klima : www.kwl-info.de
- [22] Prüfglement für die Prüfung von zentralen Wohnungslüftungsgeräten – Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte, 28/12/2000, document n°P PR09/1-0
- [23] Prüfglement für die Prüfung von dezentralen Wohnungslüftungsgeräten – Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte, 28/12/2000, document n°P PR09/1-0
- [24] Schild P.G., Brunsell J.T – Accurate performance testing of residential heat recovery units – 24th AIVC conference and BETEC conference, Washington, 12 – 14 octobre 2003
- [25] Bensafi A., Richard L., Durier F. - PRESSAT : un outil simplifié pour l'évaluation du profil environnemental de chauffage, ventilation et climatisation – CETIAT NTV 2005/080, Décembre 2005
- [26] Berndgen-Kaiser A. – Geförderte Passivhaus-Projekte in NRW - 9. Internationale Passivhaustagung – 29-30/04/2005 – Ludwigshafen – pp 411 – 416.
- [27] Site internet du projet européen ENPER – TEBUC : <http://www.enper.org/>
- [28] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B.1, Energy Performance of Buildings : Calculation Procedures Used in European Countries – 01/09/2004
- [29] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B2 : Energy Performance of Buildings : Assessment of Innovative Technologies – 01/09/2004
- [30] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B3: Energy Performance of Buildings : Legal Context and Practical Implementation of an Energy Performance Legislation – 01/09/2004
- [31] Projet européen ENPER-TEBUC – Task B5: Energy Performance of Buildings : Impact of an EP Regulation on the Building and Technology Market – 01/09/2004
- [32] Site internet sur la réglementation thermique allemande : <http://www.enev-online.de/>
- [33] Site internet de la Banque KfW : www.kfw-foerderbank.de
- [34] EN 832 Août 1999 - Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage - Bâtiments résidentiels
- [35] Portail de l'énergie en région wallonne : <http://energie.wallonie.be>
- [36] A. Greml (FHS-KufsteinTirol), E. Blümel (AEE INTEC), R. Kapferer (ENERGIE TIROL), W. Leitzinger (arsenal research) – Endbericht : Technischer Status von Wohnraumlüftungen, Evaluierung bestehender Wohnraumlüftungsanlagen bezüglich ihrer technischen Qualität und Praxistauglichkeit – Février 2004, 296 pages
- [37] Danner M.– Nutzererfahrungen in der Passivhaussiedlung « Lummerlund » in Hannover-Kronsberg - 7. Internationale Passivhaustagung – 21-22/02/2003 – Hambourg – pp 321-328
- [38] Gräppi M., Künzli S., Meyer R. – Wohnerfahrungen im Passivhaus - 7. Internationale Passivhaustagung – 21-22/02/2003 – Hambourg – pp 329-335
- [39] Hübner H., Hermelink A. – Sozialer Mietwohnungsbau gemäss Passivhausstandard. Praktische Erfahrungen und Gestaltungshinweise - 7. Internationale Passivhaustagung – 21-22/02/2003 – Hambourg – pp 345-352

- [40] Dittmar C., Müller P., Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftung e.V. - Umfrage Wohnungslüftung - 9. Internationale Passivhaustagung – 29-30/04/2005 – Ludwigshafen – pp 227 – 232
- [41] Bühring A. - Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten - 9. Internationale Passivhaustagung – 29-30/04/2005 – Ludwigshafen – p.139 – 144
- [42] Bühring A., Blichler 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
- [43] Op't Veld P., Roijen E. - Solutions for MVHR in existing dwellings – AIVC Conference 2004, Prague
- [44] Energiesparinformationen 9 - Kontrollierte Wohnungslüftung – Wissenswertes über Abluftanlagen und Anlagen mit Wärmerückgewinnung – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Institut Wohnen und Umwelt, novembre 2004
- [45] Energiesparinformationen 8 – Lüftung im Wohngebäude – Wissenswertes über den Luftwechsel und moderne Lüftungsmethoden – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Institut Wohnen und Umwelt, novembre 2004
- [46] Energie – Statistiques mensuelles – Commission Européenne – Environnement et Energie, mars 2006 – 177 pages
- [47] Energie et Matières premières, Prix du gaz et de l'électricité en Europe au 1^{er} juillet 2005 – DGEMP, Observatoire de l'Economie de l'Energie et des Matières Premières, Observatoire de l'Energie, Février 2006
- [48] Site internet du Surveillant des prix de l'électricité suisse : <http://prix-electricite.monsieur-prix.ch/web/f/>
- [49] Site internet de EUROSTAT : <http://epp.eurostat.cec.eu.int>
- [50] Site internet de l'association MINERGIE : www.minergie.ch

SITES INTERNET DES CONSTRUCTEURS ET DISTRIBUTEURS IDENTIFIES

AEREX HaustechnikSysteme GmbH : www.aerex.de
ALDES Lufttechnik GmbH : www.aldes.de
Alpha-InnoTec GmbH : www.alpha-innotec.de
Aereco GmbH : www.aereco.de
Bau Info Center, Unternehmensbereich Schwörer Haus : www.bauinfocenter.de
Balzer Lüfter GmbH : www.balzer-luefter.de
Binkert GmbH Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik : www.binkert.de
eht Siegmund Gesellschaft für Heiz- und Klimatechnik GmbH : www.eht-siegmund.com
EnEV-Air GmbH VS : www.enev-air.de
Exhausto GmbH : www.exhausto.de
Gebhardt Ventilatoren : www.belair.gebhardt.de
Glen Dimplex Deutschland GmbH www.dimplex.de
Heinemann GmbH : www.heinemann-gmbh.de – www.vallox.de
Heiztechnik Thesz : www.heiwalux.de
HERMES electronic GmbH : www.hermes-electronic.de
Hovalwerk AGFL : www.hoval.com
LEDA Werk GmbH & Co. KG : www.leda.de
LTM GmbH : www.ltm.biz
LWH GmbH : www.lwhtech.de

Meltem Wärmerückgewinnung GmbH & Co.KG : www.dezentral.info
NIBE Systemtechnik GmbH : www.nibe.de
ÖKO-Haustechnik inVENTer GmbH : www.inventer.de
Olsberg Haustechnik GmbH & Co.KG : www.heizenundlueften.de
ORANIER Heiz- und Kochtechnik GmbH : www.oranier.com
PAUL Wärmerückgewinnung-Wärmetauscher : www.paul-lueftung.de
Pluggit GmbH : www.pluggit.com
Regenerative Energien Helmut : www.flath-waerme.de
SCHAKO Klima-Luft Ferdinand Schad KG & Co. : www.schako.de
Schiedel GmbH & Co. : www.schiedel.de
Schütz eht GmbH & Co. KG : www.schuetz.de
SIEGENIA-AUBI KG : www.siegenia-aubi.com
Smeets Luftbehandlungssysteme GmbH : www.smeets.de
Solar Energie Technik Schmidt (Stork Air) : www.solarschmidt.de
Stiebel Eltron : www.stiebel-eltron.com
Systemair GmbH : www.systemair.de
Viessmann Werke GmbH & Co : www.viessmann.com
VINES Vertriebsgesellschaft Innovativer Energiesysteme Luth. : www.vines-web.de
VisionAir Lüftungs- und Luftheiztechnik GmbH : www.visionair-gmbh.de
Westaflexwerk GmbH www.ventilation.de www.westaflex.de
Zehnder GmbH : www.comfosystems.de
Zimmermann Lüftungs- und Wärmesysteme GmbH & Co. KG : www.zimmermann-lueftung.de
VENT-AXIA : www.vent-axia.com
HELIOS : www.heliosventilatoren.de
SCHRAG : www.schrag.de
MAICO : www.maico.de
ENRVENT : www.enrvent.fi
LÜFTA : www.luefta.at
DREXEL UND WEISS : www.drexel-weiss.at
BENZING : www.benzing-ls.de
GLT : www.glt.de