

## 1 Introduction

### 1.1 Généralités

Les experts s'attendent à ce que, dans un futur proche, les systèmes les plus prometteurs soient basés sur des technologies de ventilation hybride à la demande et contrôlée. L'impact des nouveaux développements et de l'amélioration des systèmes de ventilation entièrement naturels ou mécaniques sur les économies d'énergie et la qualité de l'air intérieur atteint ses limites. Bien sûr, la partie hybride du système consiste à minimiser l'alimentation électrique du ventilateur grâce à l'amélioration de son efficacité et aux conduits à basse pression.

On peut décrire les systèmes de ventilation hybride comme des systèmes permettant de rendre un environnement intérieur confortable en utilisant différentes caractéristiques des systèmes de ventilation naturelle et mécanique à différents moments de la journée, de la saison ou de l'année. Il s'agit d'un système de ventilation combinant des forces mécaniques et naturelles dans un système à deux modes. La principale différence entre les systèmes de ventilation conventionnels et les systèmes hybrides réside dans le caractère « intelligent » de ces derniers puisqu'ils sont munis de dispositifs de contrôle permettant de passer automatiquement du mode naturel au mode mécanique et inversement afin de minimiser la consommation d'énergie et de maintenir un environnement intérieur satisfaisant.



Air Infiltration and Ventilation Centre

## Ventilation hybride

W. F. de Gids, TNO, Pays Bas  
M. Jicha, University Brno, République Tchèque



Figure 1 : Représentation schématique des 2 modes de la ventilation hybride

### 1.2 Énergie pour la ventilation

Dans la mesure où l'énergie permettant de réchauffer ou de refroidir l'air de ventilation représente généralement une part importante de la demande en énergie d'un bâtiment, la minimisation de l'utilisation de cette énergie constitue une opportunité à saisir.

L'énergie nécessaire à la ventilation revêt deux aspects différents (Figure 2) :

- l'énergie permettant de réchauffer ou de refroidir l'air de ventilation
- l'énergie permettant d'acheminer l'air depuis l'admission vers le rejet, en traversant le bâtiment.

Pour les systèmes traditionnels, l'énergie requise pour l'acheminement de l'air représente environ 5 à 15 % de l'énergie utilisée pour réchauffer et/ou refroidir l'air de ventilation. La ventilation hybride permet de réduire les deux aspects du besoin en énergie.

### 1.3 Différents modes de ventilation hybride

La ventilation hybride est un système à deux modes (Figure 1) contrôlé pour minimiser la consommation énergétique tout en maintenant une qualité d'air intérieur et un confort thermique acceptables.

Les deux modes correspondent aux forces motrices naturelles et mécaniques. Les forces motrices naturelles sont le vent et le tirage thermique tandis que les forces motrices mécaniques sont souvent générées par un (des) ventilateur(s). Le principe de base consiste à maintenir un environnement intérieur satisfaisant en alternant et en combinant ces deux modes pour éviter des coûts, une pénalité énergétique et les effets considérables qu'une année entière d'air conditionné peut avoir sur l'environnement. Ce système donne lieu à des contrôles visant à maintenir les débits d'air exacts requis. Il convient de minimiser les forces motrices et l'objectif consiste dès lors à utiliser un minimum d'énergie électrique ou mécanique.

Les experts s'attendent à ce que, dans un futur proche, les systèmes les plus prometteurs soient basés sur des technologies de ventilation hybride à la demande. L'impact des nouveaux développements et de l'amélioration des systèmes de ventilation entièrement naturels ou entièrement mécaniques sur les économies d'énergie et la qualité de l'air intérieur atteint ses limites.

En raison des développements de ces dix dernières années, les systèmes avancés de ventilation mécanique et naturelle se rapprochent l'un de l'autre (Figure 3).

### 1.4 Contrôle et demande

Le cœur d'un système de ventilation hybride se situe dans la stratégie de mesure et de contrôle basée sur un capteur. La principale différence entre les systèmes de ventilation conventionnels et les systèmes hybrides réside dans le caractère « intelligent » de ces derniers, qui comprennent des algorithmes de contrôle permettant de passer automatiquement du mode naturel au mode mécanique et inversement afin de minimiser la consommation d'énergie du ventilateur et d'optimiser le confort. Ceci requiert une vision totalement nouvelle du dimensionnement et du contrôle des systèmes de ventilation. Le flux d'air doit de toute façon être contrôlé pendant l'utilisation des systèmes hybrides car le contrôle permettant de passer du mode naturel au mode mécanique, et inversement, le requiert. Comme le flux d'air est mesuré, il est également possible de l'adapter au flux demandé, soit grâce à une programmation

horaire basée sur la présence supposée de personnes ou par un autre moyen de détection de la présence de personnes dans certaines pièces, comme des détecteurs infrarouges ou des détecteurs de CO<sub>2</sub>. L'algorithme de contrôle de la ventilation hybride demeure un aspect important des études sur la ventilation hybride. La question essentielle est de savoir quand, pourquoi et comment passer du mode mécanique au mode naturel et vice versa.

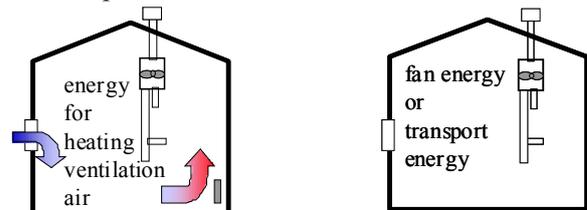


Figure 2 : Énergie nécessaire pour réchauffer ou refroidir et pour transporter l'air de ventilation

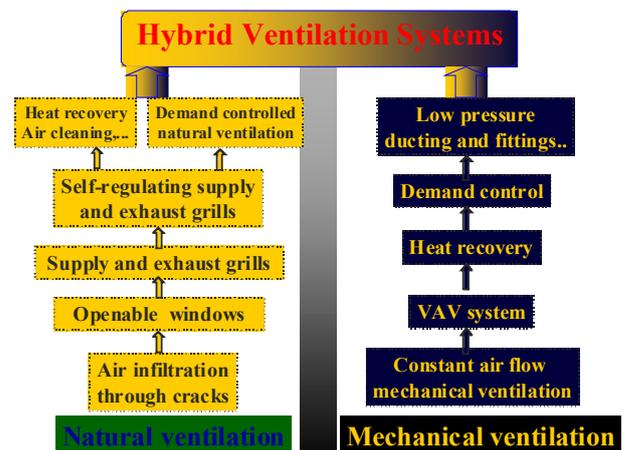


Figure 3 : Développements récents en matière de systèmes de ventilation (P. Wouters PhD - revu)

### 1.5 Avantages

Comme la ventilation hybride consiste à combiner les modes naturel et mécanique, elle peut également permettre de minimiser la consommation énergétique et d'améliorer les niveaux de qualité de l'air intérieur et de confort. La ventilation hybride est également plus durable que les systèmes de ventilation traditionnels.

Le mode naturel de la ventilation hybride est hautement apprécié par les utilisateurs, ce qui réduit le nombre de plaintes concernant la ventilation et le confort. La ventilation naturelle offre également la possibilité de

maximiser la ventilation nocturne en été, ce qui améliore le confort.

Des possibilités d'intervention personnelle en matière de contrôle peuvent être utilisées et augmentent la perception de la nécessité d'une interaction active avec ces systèmes, ce qui entraîne généralement une amélioration de la qualité de l'air intérieur et du confort.

## 1.6 Conséquences pour les bâtiments

Les bâtiments équipés d'un système de ventilation hybride doivent être étanches à l'air, ce qui est évidemment nécessaire pour tous les types de systèmes de ventilation. L'infiltration ne peut pas perturber la demande en ventilation, ne peut pas entraîner une consommation inutile d'énergie et ne peut pas conduire à des situations dans lesquelles le chauffage d'une pièce est insuffisant, ce qui donne lieu à des problèmes de confort.

Les systèmes de ventilation hybride requièrent une interaction totale avec la construction et la conception du bâtiment. En raison de quelques exigences concernant le dimensionnement des conduits du système, la masse thermique, l'emplacement des entrées et sorties, etc., les architectes ou les équipes de conception doivent se montrer ouverts et prêts à aborder l'intégration du système hybride.

## 1.7 Obstacles

Les principaux obstacles à l'application d'une ventilation hybride ne sont pas liés au coût, contrairement à ce que l'on pourrait penser (voir le chapitre 4). Il existe un certain nombre d'obstacles à l'application d'une ventilation hybride :

- L'expérience et les connaissances en matière de systèmes de ventilation hybride sont très limitées
- Traditionnellement, les ingénieurs HVAC considèrent la ventilation mécanique comme une solution de ventilation permettant de ne pas se laisser surprendre par l'inconnu
- Les règles et les outils de conception font défaut ou sont rarement disponibles
- Les critères de conception ne conviennent pas toujours aux systèmes hybrides
- Certaines réglementations en matière de construction et/ou normes de ventilation

posent des exigences qui ne sont pas basées sur la performance définie mais sont simplement descriptives. La plupart des normes et des règles posent des exigences fixes. Souvent, elles ne fournissent pas d'informations au sujet d'une quelconque période pendant laquelle les valeurs requises pourraient être dépassées. Si l'exigence est exprimée sous forme de valeur unique ou si la marge tolérée est très mince, la ventilation mécanique sera probablement l'option retenue, même si une option naturelle répartie dans le temps apporterait les mêmes résultats.

- Dans certains pays, les règles en matière de paiement de conseillers sont telles que le conseiller est payé proportionnellement au coût du système. Comme dans certains cas la partie mécanique du système peut être meilleur marché, cela n'incite pas à conseiller un système hybride
- Les entrées de ventilation naturelle pour des pièces n'offrent normalement pas la possibilité de filtrer l'air entrant. Dès lors, dans le cas d'une filtration, il est essentiel soit d'avoir une entrée naturelle centrale permettant de réaliser une filtration, soit de recourir à une ventilation mécanique.

## 1.8 Règlementations et normes

Aucune norme ni aucune règle n'empêche l'installation d'une ventilation hybride à la demande dans des maisons. Dans certains pays, les réglementations actuelles peuvent compliquer une telle installation en comparaison avec un système de ventilation traditionnel. Les nouveaux codes de construction élaborés grâce à l'EPBD devraient supprimer ces obstacles et devenir une force motrice du marché. Un marché européen harmonisé augmenterait le potentiel des systèmes de ventilation hybride à la demande. Il y a lieu d'harmoniser les codes et les normes de construction ainsi que les procédures d'évaluation. Les procédures d'évaluation doivent prendre en compte les systèmes innovants comme la ventilation hybride à la demande. L'application des exigences posées par l'EPBD constituerait une étape importante dans cette direction.

## 2 Classification de systèmes hybrides

### 2.1 Concepts de systèmes hybrides

On peut définir trois concepts de ventilation :

- utilisation alternée de la ventilation naturelle et mécanique
- ventilation naturelle assistée par un ventilateur
- ventilation mécanique soutenue par le tirage thermique et le vent.

Jusqu'à présent, les bâtiments équipés de systèmes hybrides sont encore loin d'être la solution optimale. Les connaissances font défaut en matière de dimensionnement et de contrôle des systèmes de ventilation hybride.

### 2.2 Utilisation alternée de la ventilation mécanique et naturelle

Le premier exemple est celui d'un système destiné à une habitation dans laquelle est installé un système double flux. Mais lorsque les conditions climatiques extérieures rendent une ventilation naturelle possible, le système mécanique s'éteint. Dans des conditions climatiques extrêmes, trop chaudes ou trop froides, le système naturel s'éteindra et le système mécanique prendra la relève.

Quelques indications concernant les occupants au cas où le mode mécanique ou naturel dépendrait du nombre d'occupants, leur activité et le climat sont des informations utiles.

On peut imaginer que ce système n'est pas une forme optimale de ventilation hybride mais il s'agit d'un exemple typique de tentative de minimiser la consommation d'énergie et de maximiser le contrôle par les personnes.

### 2.3 Ventilation naturelle assistée par un ventilateur

Voici un exemple de concept de ventilation hybride pour un immeuble à appartements qui disposait à l'origine de conduits de ventilation naturelle combinée. La plupart du temps, le système fonctionne à l'aide de forces naturelles. Mais lorsque les forces du vent et du tirage thermique ne permettent pas

d'atteindre le niveau de ventilation requis, le ventilateur spécialement conçu à cet effet se met en marche.

L'air s'introduit par des entrées réalisées dans la façade. L'air va être extrait des toilettes, de la salle de bain et de la cuisine de l'appartement individuel par un conduit spécifique et un embranchement. Un ventilateur peut soutenir le flux dans tout le système.

### 2.4 Ventilation mécanique soutenue par le tirage thermique et le vent

Le système illustré ci-dessous est un système de ventilation hybride industrielle ayant un impact limité sur le bâtiment. Cependant, l'énergie du ventilateur est limitée en raison des effets du vent et du tirage thermique. De plus, pendant certaines périodes de l'année, le système fonctionne sans forces mécaniques. L'ensemble est équipé d'un système de récupération de chaleur à faible résistance fonctionnant également à l'appui des forces naturelles. Le système peut aussi être installé dans des habitations. Il s'agit d'un concept typique de ventilation mécanique mais la distribution à basse pression a été prise en compte pour que les sources naturelles disponibles constituent une part importante des forces motrices.

Les bâtiments dans lesquels ce système est installé sont des bâtiments ordinaires sans dispositif de ventilation hybride spécifique dans la structure du bâtiment. L'application de ce système est presque illimitée mais les frais et l'investissement jouent un rôle déterminant.

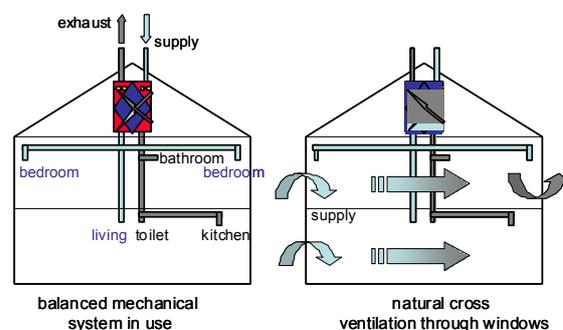


Figure 4 : Mode de ventilation mécanique (gauche) et naturelle (droite)

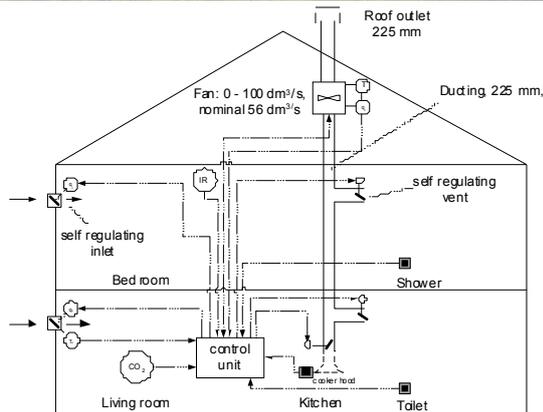


Figure 5 : Exemple d'habitation avec ventilation mécanique

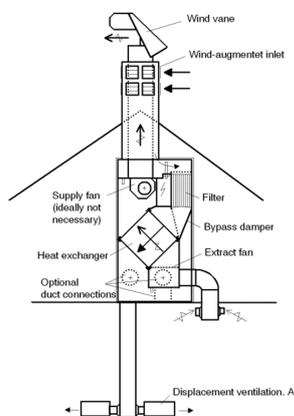


Figure 6 : Système mécanique typique alimenté par des forces naturelles

### 3 Recherche et développements

#### 3.1 Objets de recherche

Tous les concepts de ventilation hybride tels que décrits dans le chapitre 2 sont loin d'être des solutions optimales. Il s'agissait d'une première approche pour toutes les équipes de conception. De nombreuses connaissances font

encore défaut et un certain nombre de sujets de recherche restent sans réponse :

- Quelle stratégie de ventilation choisir pour optimiser l'efficacité énergétique, la qualité de l'air intérieur et le confort thermique ?
- Quelle stratégie de contrôle est-elle la plus appropriée ?
- Quels paramètres de contrôle faut-il utiliser en fonction des différentes conditions climatiques et des débits demandés ?
- Comment dimensionner les systèmes de ventilation pour les modes naturel et mécanique, y compris les composants du système tels que les ouvertures, les conduits, les ventilateurs, les flux intérieurs excédentaires, les échangeurs de chaleur, etc. ?

#### 3.2 Développements

Les aspects suivants jouent un rôle important dans le développement de systèmes hybrides actuellement en cours dans un certain nombre de pays européens :

- évacuation localisée ou évacuation centralisée
- réglage de l'alimentation et de l'évacuation
- entrées d'air autocontrôlées
- conduits basse pression alimentés par le vent et le tirage thermique
- conception optimale de l'extracteur
- contrôle de la demande par des détecteurs IR, CO<sub>2</sub> et RH ou contrôle horaire
- dimensionnement optimal des conduits
- optimisation de la conception du ventilateur

### 4 Coût des systèmes hybrides

#### 4.1 Généralités

Le coût est l'un des principaux facteurs de décision pour le choix d'un système de ventilation, ce qui donne lieu à un système de ventilation rencontrant à peine les exigences des réglementations en matière de construction, au prix initial le plus bas. Souvent, les personnes qui prennent les décisions ne sont pas conscientes de l'impact que la qualité du système de ventilation peut avoir sur les coûts du cycle de vie, tant pour le système de ventilation proprement dit que pour

le bâtiment. C'est la raison pour laquelle les cahiers des charges devraient inclure :

- les frais (d'investissement) initiaux
- les frais d'entretien
- les coûts énergétiques

Il est difficile de rassembler des statistiques sur les coûts et de les comparer. La législation, les réglementations et la politique énergétique nationales peuvent influencer les coûts considérablement.

Les frais initiaux et totaux de quelques-unes des études de cas du projet Hybvent sont présentés aux Figures 7 et 8.

#### 4.2 Frais d'entretien

On ne dispose que d'un nombre limité de données sur les frais d'entretien spécifiques des systèmes de ventilation hybride. Une indication des différentes activités d'entretien de ces systèmes est présentée ci-dessous.

- Entretien régulier : les activités d'entretien suivantes peuvent s'avérer nécessaires :

nettoyage des grilles, filtres et conduits souterrains, mesure des débits d'air (équilibre) et, le cas échéant, remplacement des filtres.

- Interventions à la suite de plaintes : les plaintes sont très rares. On a rapporté un haut degré de satisfaction des utilisateurs du système.
- Frais d'entretien d'un bâtiment dus à la présence d'un système de ventilation : aucun impact sur le bâtiment nécessitant un entretien supplémentaire n'a été rapporté.

#### 4.3 Coûts énergétiques

Selon les prévisions, les systèmes de ventilation hybride devraient avoir un potentiel élevé de réduction de la consommation énergétique des bâtiments. Dans les études de cas du projet Hybvent, les coûts énergétiques variaient de 6 à 27 EUR/m<sup>2</sup> de surface de plancher.

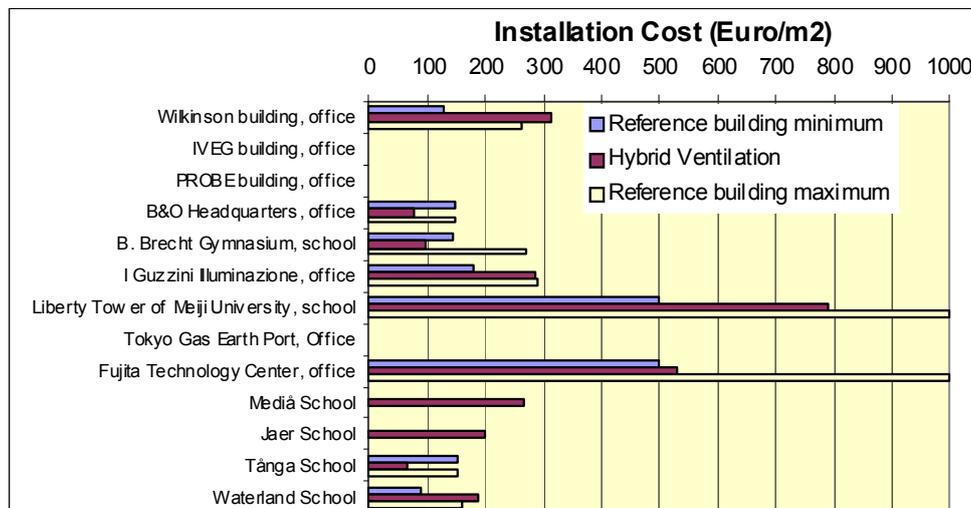


Figure 7 : Frais d'installation initiaux de quelques systèmes de ventilation hybride, comparés aux références d'Hybvent

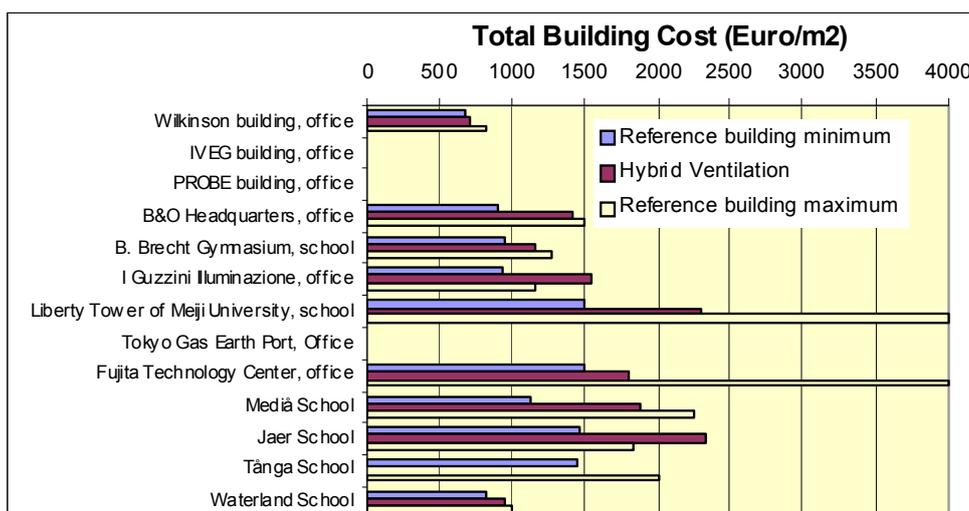


Figure 8 : Coût total du bâtiment pour quelques uns des bâtiments des études de cas, comparé aux références d'Hybvent

## 5 Conception de systèmes de ventilation hybride

Le processus de ventilation hybride dépend fortement du climat extérieur, du microclimat entourant le bâtiment ainsi que du comportement thermique du bâtiment. C'est pourquoi il est essentiel de prendre ces facteurs en compte dans l'étape de la conception de base. Cette première étape débouche sur une orientation, une conception et un plan du bâtiment minimisant les sollicitations thermiques du bâtiment en périodes de surchauffe, ce qui permet, à l'aide de la stratégie de ventilation choisie, d'exploiter les forces motrices dominantes (vent et/ou tirage thermique) à un endroit spécifique et de garantir une bonne distribution de l'air dans tout le bâtiment. Il est également important de prendre en compte des aspects comme le potentiel de refroidissement nocturne, le bruit, la pollution de l'air environnant ainsi que la sécurité incendie et la sécurité en général.

L'étape de la conception climatique consiste à concevoir le mode de ventilation naturel du système hybride. L'emplacement et le dimensionnement des ouvertures dans le bâtiment ainsi que les caractéristiques permettant de stimuler des forces motrices comme les cheminées solaires et le tirage thermique sont conçus conformément à la stratégie choisie pour la ventilation de jour et de nuit. Sont prises en compte, les méthodes passives de réchauffement et/ou de refroidissement de l'air extérieur, de même que

la récupération de chaleur et la filtration. Il convient par ailleurs de déterminer des stratégies de contrôle appropriées pour le mode de ventilation naturelle et de prendre des décisions en ce qui concerne le niveau de contrôle automatique et/ou manuel et l'interaction de l'utilisateur.

La troisième étape consiste à concevoir les systèmes mécaniques nécessaires pour rencontrer les exigences en matière de confort et d'énergie. Il peut s'agir de placer de simples ventilateurs d'extraction mécaniques pour accroître les forces motrices, d'une ventilation mécanique double flux ou de systèmes de climatisation.

La ventilation hybride et toute la stratégie de contrôle du système correspondante sont déterminées pour optimiser la consommation énergétique tout en maintenant des conditions de confort acceptable.

La climatisation et la ventilation d'espaces intérieurs seront assurément efficaces si le processus de conception se déroule dans un ordre logique par étapes successives en approfondissant les détails jusqu'à la conception finale et dans le cadre d'une procédure de conception.

Dans le cas d'une ventilation hybride, la nécessité d'une procédure de conception apparaît encore plus évidente en raison de l'équipe complète de conception en présence: les utilisateurs, le propriétaire du bâtiment,

l'architecte, l'ingénieur civil et le conseiller en climat intérieur et en énergie, tous doivent être impliqués – en même temps.

Une procédure de conception HVAC comporte différentes phases : la phase de définition du concept, la phase de conception de base, la phase de conception détaillée et l'évaluation de la conception.

## 6 Références

1. Heiselberg, Per. Principles of Hybrid Ventilation. Aalborg Technical University, Aalborg, Denmark, April 2002
2. EU Project Reshyvent. Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings with specific emphasis of the Integration of Renewables. Cauberg Huygen. Maastricht, The Netherlands, April 2001
3. Wouters, P. Classification of hybrid ventilation concepts. Belgian Building Research Institute  
Brussels, Belgium, September 1999
4. Gids, W.F. de. Hybrid Ventilation Concepts, Developments and Challenges. TNO Building and Construction Research, Delft, The Netherlands, April 2001
5. Aa, A. v.d. Cost of Hybrid Ventilation Systems. Cauberg Huygen, Rotterdam, The Netherlands, February 2002.

Version originale en anglais

Traduction française réalisée avec le soutien de :



Wallonie



CSTC

---

L'« **Air Infiltration and Ventilation Centre** » (**AIVC**) a été créé dans le cadre de l'Agence internationale de l'Énergie et est financé par les pays suivants : Belgique, République Tchèque, Danemark, France, Grèce, Japon, République de Corée, Pays-Bas, Norvège et États-Unis d'Amérique.

L'AIVC fournit un support technique en matière de recherche et d'applications dans le domaine de la ventilation et des infiltrations d'air. L'objectif est de promouvoir la compréhension du comportement complexe des courants d'air dans les bâtiments et de faire progresser l'application effective des mesures d'économie d'énergie qui y sont associées dans la conception de nouveaux bâtiments et l'amélioration du parc de bâtiments existants.