



## La ventilation par déplacement

Dr. Peter G. Schild  
Norwegian Building Research Institute

### 1 Introduction

#### 1.1 Définitions

Ventilation par mélange: C'est la méthode la plus courante de distribution d'air; elle implique une amenée d'air de ventilation à grande vitesse dans le local, ce qui provoque un bon brassage entre l'air présent dans la pièce et l'air frais.

Zone d'occupation: Le volume spatial à l'intérieur du local qui est fréquemment occupé par des personnes. Il mesure 1.3 ~ 1.8 m de haut (personnes assises/debout) et est distant d'au moins 0.3 ~ 1.5 m des murs.

Zone à risque de courant d'air (quasi-zone): La région proche du diffuseur d'air que les occupants trouvent inconfortable en raison du courant d'air froid au ras du sol (illustrée par des isothermes rouges – Figure 1, Figure 7, Figure 8).

#### 1.2 Principe de fonctionnement

Le principe comporte l'amenée et la distribution d'air dans une pièce par déplacement ascendant, c'est-à-dire un écoulement aussi direct que possible dans la zone d'occupation en vue d'obtenir une grande efficacité de la ventilation. En outre, la distribution d'air par déplacement permet généralement de fournir une plus grande quantité d'air que la ventilation par mélange classique, laquelle requiert une amenée concentrée à vitesse élevée.

Le schéma de cheminement de l'air est très différent de celui créé par les jets d'air de la ventilation par mélange classique.

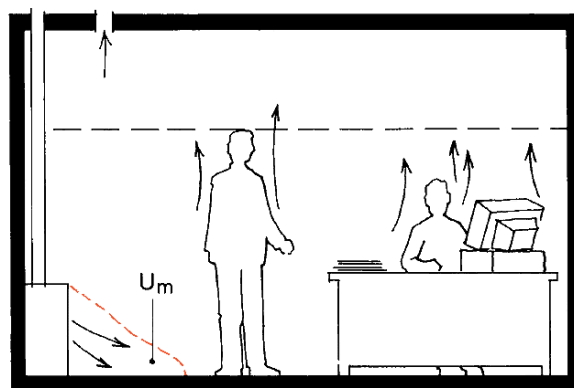


Figure 1: Principe de la ventilation par déplacement. L'air présent dans la zone d'occupation est à la fois réchauffé et pollué par les occupants, etc., et s'élève par convection naturelle.

L'air est amené à faible vitesse dans la zone d'occupation, souvent au ras du sol (Figure 1). L'air neuf est légèrement plus frais que l'air de la pièce, et a donc fortement tendance à descendre et à s'étaler sur le sol où il forme une mince couche uniforme (environ 20 cm) sous l'effet de la gravité, sans se mélanger de manière significative avec l'air ambiant au-dessus de lui. Ce processus entraîne un déplacement d'air continu et uniforme vers le haut de la pièce, comme quand on remplit une baignoire d'eau.

L'air présent dans la zone d'occupation est donc généralement plus frais qu'en cas de ventilation par mélange. L'air est extrait de la pièce au niveau du plafond.

En outre, au niveau des sources localisées de pollution qui produisent de la chaleur, comme les humains, les polluants dégagés s'élèvent rapidement au-dessus de la zone d'occupation

sous l'effet des forces ascensionnelles (une colonne de convection naturelle ascendante). Ce flux ascendant local amène aussi un courant continu d'air neuf du sol vers la zone de respiration des occupants. L'air présent dans la zone de respiration est donc légèrement plus frais qu'ailleurs dans la pièce à la même hauteur.

Le débit d'air amené et sa capacité de refroidissement sont limités par la dimension des bouches de pulsion, et dépendent de la magnitude du débit d'air techniquement / économiquement justifiable. La capacité de refroidissement est également limitée par la fraîcheur que peut avoir la température de pulsion sans provoquer d'inconfort local (courant d'air froid au ras du sol).

### 1.3 Applications et limitations

La ventilation par déplacement convient uniquement quand l'air fourni doit être plus frais que l'air ambiant, et lorsque les contaminants sont plus chauds et/ou plus légers que l'air environnant dans la pièce. Par conséquent, la ventilation par déplacement convient bien pour obtenir une bonne qualité de l'air dans les espaces occupés. Une ventilation par déplacement bien conçue est supérieure à la ventilation par mélange dans les pièces à haute densité d'occupation, p.ex. les restaurants, les locaux scolaires et les salles de réunions. Les hauts plafonds améliorent, en outre, l'efficacité de la ventilation par déplacement, p.ex. les salles de conférence les cinémas, les supermarchés. Plus généralement, la ventilation par déplacement est préférable lorsqu'un débit d'air important est voulu dans une petite pièce, ou pour la ventilation de hautes pièces (plus de 3 mètres).

La ventilation par mélange est souvent un meilleur choix que la ventilation par déplacement dans les pièces où la qualité de l'air n'est pas un problème, ou dans les bureaux cellulaires. La ventilation par déplacement peut être moins souhaitable que la ventilation par mélange dans les cas suivants [1]:

- Lorsque les principaux polluants sont plus denses/plus froids que l'air ambiant (p.ex. pollution particulaire, poussière)
- Lorsque c'est la surchauffe qui est le principal problème, et non la qualité de l'air

- Lorsque la hauteur de plafond est inférieure à 2.3 mètres
- Lorsqu'un mouvement continu très significatif perturbe la circulation de l'air dans la pièce
- Si le problème principal est le refroidissement, une ventilation mixte avec plafond froid est recommandée dans les pièces à hauteur de plafond faible ou normale (p.ex. les bureaux).
- La ventilation mixte est largement utilisée pour les applications communes, c.-à-d. pour les débits d'air inférieurs à environ  $10 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ .

La Figure 2 résume les différentes zones d'application de la ventilation par déplacement et de la ventilation mixte, avec et sans plafonds froids [3]. Cette figure représente grosso modo le meilleur système qui produit le moins de courant d'air.

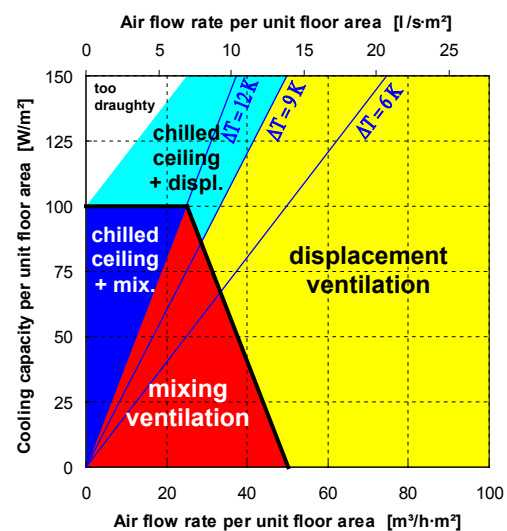


Figure 2 : Systèmes de ventilation appropriés pour différents débits et différentes puissances calorifiques à dissiper [3]. Les lignes " $\Delta T$ " représentent la différence de température entre la pièce et l'air fourni lorsque seule la ventilation est utilisée pour le refroidissement.

Les principaux avantages de la ventilation par déplacement par rapport à la ventilation par mélange sont, du point de vue des performances [1]:

- Moins de refroidissement nécessaire pour une température donnée dans la zone d'occupation

- Périodes plus longues de refroidissement libre
- Meilleure qualité de l'air dans l'espace occupé (bien qu'il puisse y avoir davantage de poussière respirable en suspension dans la zone de respiration [3])

Les principaux points faibles de la ventilation par déplacement sont [1]:

- Risque de sensation de froid ou de courant d'air à proximité du sol. Il faut une grande compétence en matière de conception pour l'éviter.
- Les diffuseurs muraux peuvent prendre beaucoup de place et ne peuvent pas être bloqués par des meubles le long des murs. Les meubles indépendants dans la pièce ne posent généralement pas de problème, car l'air fourni peut s'écouler autour ou en-dessous d'eux, un peu comme l'eau qui remplit une baignoire.
- Les diffuseurs muraux n'autorisent pas beaucoup de flexibilité dans les changements de disposition pendant la durée de vie du bâtiment. Il faut une collaboration étroite entre l'architecte et l'auteur du projet HVAC afin de trouver des emplacements convenables pour les diffuseurs.

Lorsque la ventilation par déplacement est combinée à un plafond froid, la température de l'air fourni doit être constante, tandis que le rendement de refroidissement est contrôlé par l'ajustement du débit dans le plafond froid.

## 2 Types et propriétés respectives

### 2.1 Diffuseurs posés au sol pour une pulsion horizontale

C'est le type le plus courant de ventilation par déplacement d'air. Il est illustré à la Figure 1. Ce principe exige que l'air fourni ait toujours une température inférieure d'au moins 1°C par rapport à la température de l'air intérieur (voir également le point 3.1.1). Le nombre de diffuseurs présents dans la pièce (et plus spécifiquement le périmètre horizontal total des diffuseurs) limite le taux de ventilation total qui peut être obtenu sans provoquer de courant d'air.

Il y a 3 types principaux de diffuseurs de soufflage de ce genre.

- Plat, affleurant au mur, intégré
- En saillie par rapport au mur, indépendant: face plate, demi-circulaire ou quart-de-cercle à poser dans les coins.
- Indépendant posé au sol, avec conduit venant du plafond ou de l'espace inférieur à travers le plancher

### 2.2 Ventilation sous plancher

La Figure 3 illustre ce principe. La condition limite de la conception est l'hiver, lorsque l'air fourni doit avoir une température inférieure d'au moins 2°C par rapport à l'air de la pièce afin d'obtenir un déplacement effectif. Le nombre de diffuseurs limite le taux de ventilation total qui peut être atteint sans provoquer de courant d'air.

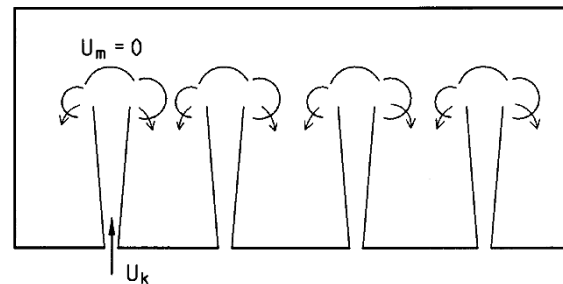


Figure 3 : Ventilation par déplacement d'air sous plancher, p.ex. salles d'ordinateur avec plancher surélevé.

On utilise habituellement des bouches de soufflage circulaires dans un plancher surélevé modulaire. La forme des bouches de soufflage est conçue de manière à créer un tourbillon afin que l'air se mélange rapidement et cause de ce fait peu de courant d'air. Ce brassage étant localisé à un niveau bas, il ne réduit pas de manière appréciable l'efficacité de la ventilation.

L'air peut être soufflé à travers le tapis, mais la propreté du tapis est problématique.

### 2.3 Amenée au plafond par des conduits textiles ou chaussettes

Ce genre de conduits s'utilise surtout dans des locaux ouverts profonds. Lorsque l'air fourni atteint le sol, il se répand au ras de ce dernier tout comme dans l'écoulement par gravité observé en ventilation par déplacement classique. La vitesse maximum admissible

dans le rideau d'air fourni descendant,  $u_m$  (Figure 7), dépend du fait que les canaux sont ou non situés au-dessus d'une zone d'occupation permanente. S'il s'agit d'une zone de transit, ou d'une zone d'occupation peu fréquente,  $u_m$  peut atteindre jusqu'à 0.25 m/s.

Une autre solution consiste à utiliser ces conduits comme dispositifs de soufflage terminaux au niveau du sol, auquel cas les règles normales de conception pour diffuseurs posés au sol sont d'application.

D'autres types de conduits (non textiles) sont conçus avec de nombreux de petits jets à haute vitesse répartis uniformément sur la longueur du conduit. De telles installations sont documentées et conçues selon les règles de la ventilation par mélange.

Les systèmes à conduits textiles demandent une bonne routine de nettoyage des conduits (recommandée par le fabricant des conduits), et l'air fourni doit être bien filtré.

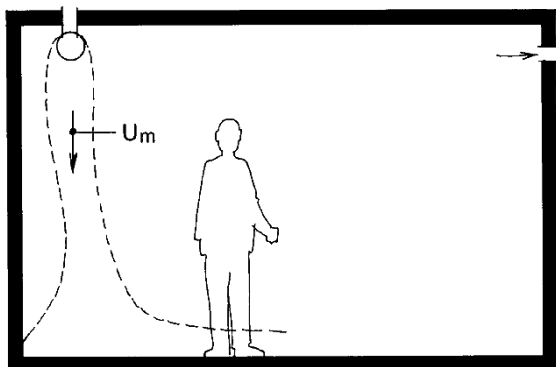


Figure 4 : Aménée par des conduits textiles horizontaux.

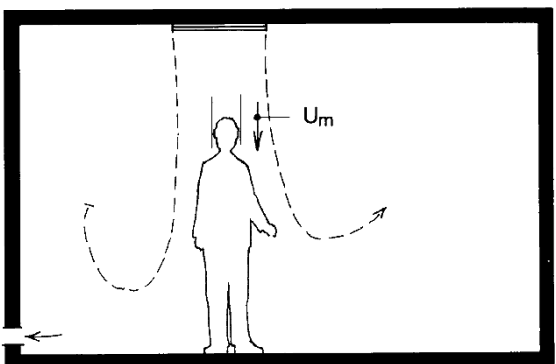


Figure 5 : Soufflage par de grandes zones du plafond. Evacuation au niveau du sol.

## 2.4 Flux descendant de zones de soufflage au plafond

Cette méthode spéciale de distribution de l'air (Figure 5) est pertinente lorsqu'il faut créer des zones locales d'air frais à hauteur de respiration ou lorsque la zone du plancher est particulièrement contaminée. La bonne conception de ces installations est un véritable défi. Un exemple en est donné par les salles d'opération des hôpitaux.

## 3 Procédure de conception

### 3.1 Contraintes de confort thermique

#### 3.1.1 Zone à risque de courant d'air et calcul du risque de courant d'air

L'erreur de loin la plus courante et la plus significative commise dans la conception de la ventilation par déplacement est d'autoriser une température trop basse de l'air fourni (ce qui peut se produire si la température de soufflage est mal contrôlée par un thermostat d'ambiance) ou une vitesse de l'air trop élevée au ras du sol (si l'on utilise trop peu de diffuseurs de soufflage, chaque diffuseur a un débit plus important). Ces facteurs agrandissent la zone du plancher qui est trop sujette aux courants d'air pour être confortable (la zone de risque de courant d'air) à proximité des diffuseurs de soufflage. La disposition architecturale doit tenir compte du fait que la zone du plancher située à l'intérieur de la zone de risque de courant d'air d'un diffuseur ne convient pas pour une occupation permanente, mais qu'elle peut constituer une zone de transit, par exemple.

Durant les périodes d'occupation, la température de l'air fourni ne devrait pas tomber au-dessous de 18°C en été et de 19 ~ 20°C en hiver, selon la performance du diffuseur.

Le flux d'air qui quitte un diffuseur de soufflage horizontal va s'accélérer lorsqu'il tombe sur le sol et atteindra sa vitesse maximale  $v_{max}$  à l'endroit où la section d'écoulement sur le sol est la plus étroite (Figure 6). A partir de ce point, la hauteur de la couche d'écoulement au ras du sol reste uniforme (environ 20 cm) mais la vitesse décroît avec la distance par rapport au diffuseur.

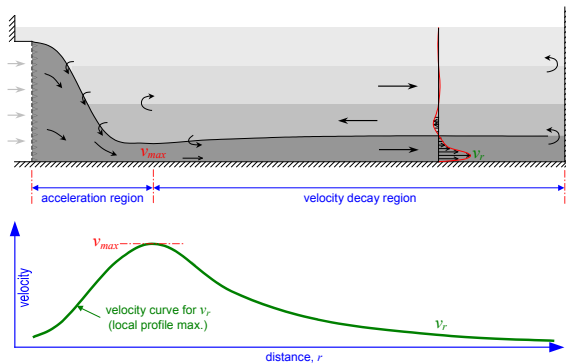


Figure 6 : Section d'écoulement au ras du sol à partir d'une bouche de soufflage posée au sol.

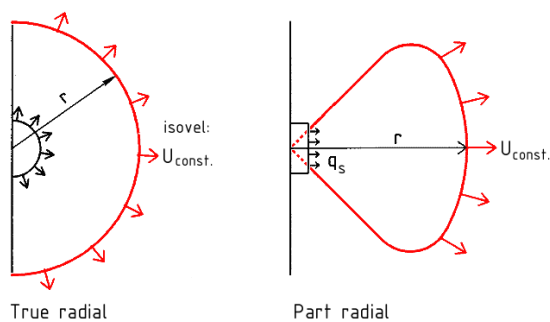


Figure 7 : Vue en plan de deux exemples de schéma de flux radial au ras du sol: diffuseur semi-circulaire idéal, et diffuseur à face plate.

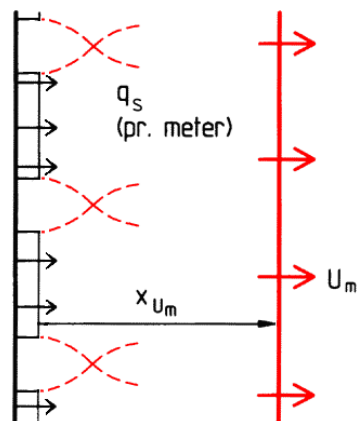


Figure 8 : Vue en plan d'un schéma d'écoulement linéaire uniforme à une certaine distance d'un mur à diffuseur en continu sur toute sa longueur, ou à diffuseurs muraux placés à intervalle régulier.

En présence de diffuseurs à flux radial (Figure 7), la perte de vitesse est inversement proportionnelle à la distance de l'axe central du diffuseur (en raison de l'agrandissement de la section d'écoulement, proportionnelle au rayon  $r$ ). S'agissant de diffuseurs à écoulement linéaire (Figure 8), la perte de vitesse est beaucoup plus progressive (exponentielle, en

raison de la friction et du brassage) car la section d'écoulement est constante par rapport à la distance  $r$ .

Dans le cas des diffuseurs à schéma d'écoulement radial (Figure 7), la relation entre la distance et la vitesse est à peu près décrite par:

$$v_r \approx K_v \left( \frac{q_s g \Delta T_s}{T_s r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equ. 1})$$

De même, la vitesse maximale au sortir des diffuseurs linéaires (Figure 8) est décrite par:

$$v \approx K_v \left( \frac{q_s g \Delta T_s}{T_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equ. 2})$$

Où:

$v$  = vitesse [m/s]

$K_v$  = constante du diffuseur. Une valeur typique est 1.9 pour les diffuseurs radiaux et 1.5 pour les diffuseurs linéaires.

$q_s$  = débit volumique de soufflage [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$g$  = accélération de la pesanteur [ $9.81 \text{ m/s}^2$ ]

$\Delta T_s$  = Sous-température de soufflage [K]

$T_s$  = Température de soufflage [K]

$r$  = distance par rapport à l'axe central du diffuseur (épicycle de l'écoulement) (pertinent uniquement pour les diffuseurs radiaux)

$K_v$  n'est pas strictement constante, car elle est légèrement influencée par la température. On trouvera des équations plus précises avec des constantes améliorées en [4].

Afin d'éviter l'inconfort dû au courant d'air, la vitesse de l'air au ras du sol dans la zone d'occupation ne doit pas excéder 0.15 m/s en hiver et 0.25 m/s en été ([8] ou [9]).

La température locale de l'air a une influence très importante sur le niveau d'inconfort dû au courant d'air. Il y a donc lieu d'envisager d'effectuer des calculs de conception sur le risque de courant d'air à l'aide de la relation Draught-Risk (DR) donnée en [10]. Des valeurs limites acceptables du risque de courant d'air sont données en [9] pour différentes classes d'environnement intérieur.

### 3.1.2 Stratification des températures

Dans la ventilation par déplacement, la température de l'air s'élève entre le sol et le plafond. Cela veut dire que l'espace occupé est plus frais que l'air qui le surmonte. Donc, en comparaison de la ventilation par mélange, la température de l'air fourni peut être supérieure d'environ  $1 \sim 2^\circ\text{C}$  dans les pièces de 3 m de haut et atteindre  $4^\circ\text{C}$  dans les pièces très hautes. Cela donne des périodes plus longues dans l'année où le refroidissement libre peut être appliqué alors qu'à d'autres moments, il faudra moins d'énergie pour refroidir l'air fourni qu'en ventilation par mélange.

Dans la plupart des applications dans des locaux de hauteur normale, on peut supposer que la température a un profil linéaire vertical depuis le plancher, et que la température de l'air au niveau du sol est à mi-chemin entre les températures de pulsion et d'extraction ("hypothèse des 50%", voir Figure 9). On trouvera des calculs plus précis du profil vertical de la température en [5].

Le gradient de température ne doit pas être supérieur à  $3^\circ\text{C}$  entre les pieds et le torse (de 0.1 à 1.1m) ([8] ou [9]).

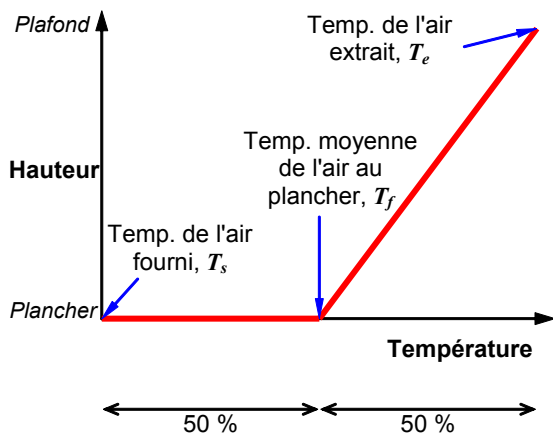


Figure 9 : Illustration de l'hypothèse des 50%.

## 3.2 Contraintes de qualité de l'air

### 3.2.1 Efficacité de la ventilation en pratique

La ventilation par déplacement d'air peut fonctionner à des débits de ventilation plus bas que la ventilation par mélange. La raison en est qu'elle a un meilleur rendement. Ceci s'applique à la fois à :

- la qualité de l'air (rendement d'élimination des contaminants locaux dans la zone de respiration  $\approx 120\%$ )
- et au rendement thermique (c.-à-d. la capacité d'extraction de la chaleur dans la zone d'occupation, voir point 3.1.2).

Toutefois, la ventilation par mélange est préférable lorsqu'on utilise un débit de renouvellement d'air très bas et une sous-température élevée. Normalement, les deux systèmes – la ventilation par mélange et la ventilation par déplacement – nécessitent à peu près les mêmes débits d'air, la ventilation par déplacement procurant habituellement un air de meilleure qualité pour une même quantité d'air.

### 3.2.2 Hauteur de la couche de pollution

La hauteur de la couche de pollution dépend du débit de renouvellement d'air et de la force des sources de chaleur par convection présentes dans la pièce. Le débit d'air fourni doit être calculé de manière à être suffisamment important pour maintenir la couche de pollution au-dessus de la zone d'occupation (Figure 1). Ces calculs sont décrits en [1].

## 4 Problèmes de conception

### 4.1 Chauffage des locaux

La ventilation par déplacement ne peut pas s'utiliser dans les cas où la pièce est chauffée essentiellement par l'air de ventilation (c.-à-d. lorsque l'air fourni est plus chaud que l'air de la pièce). L'air de la zone d'occupation se mettra à stagner parce que l'air chaud fourni montera directement vers le plafond et sera évacué (court-circuitage).

La ventilation par déplacement se combine bien avec un chauffage au moyen de radiateurs (p.ex. radiateurs de grande surface placés sous les fenêtres), le chauffage par rayonnement par le plafond ou le chauffage par le sol. Le chauffage par le plafond est particulièrement complémentaire. Par contre, les sources de chauffage par convection concentrées ne conviennent pas.

Les diffuseurs de ventilation par déplacement ne doivent pas être disposés de manière à ce que l'air fourni s'écoule vers les appareils de chauffage.

## 4.2 Choix du diffuseur

La probabilité de problèmes de courant d'air est fortement influencée par le choix du diffuseur. Il y a lieu de choisir un diffuseur qui assure la bonne proportion de mélange entre l'air de la pièce et l'air fourni. La vitesse de l'air à proximité du diffuseur peut également créer des problèmes si les taux d'induction sont élevés. Il est recommandé de n'utiliser que des diffuseurs provenant de fabricants dont on dispose d'une documentation fiable. La conception de ces diffuseurs prévoit généralement des caractéristiques aérodynamiques spéciales en vue de réduire les problèmes de courant d'air. Nordtest a mis au point une méthode de documentation des performances [4]. Les diffuseurs improvisés, composés d'une simple grille ou d'une tôle perforée, peuvent causer davantage de courant d'air au ras du sol. Dans les cas où le fabricant ne peut pas garantir des performances chiffrées, il y a lieu de construire une maquette de laboratoire à l'échelle 1/1 de l'application spécifique et de la tester.

## 4.3 Commande et automatisation

Pendant la période de chauffe, la température de l'air fourni est maintenue constante (à sa valeur maximale, p.ex. 20°C) et n'est donc pas régulée en fonction du thermostat d'ambiance.

Pendant la saison de refroidissement, la température de l'air fourni devrait être commandée par le thermostat d'ambiance, mais avec les limitations imposées par le système individuel. La température de l'air fourni ne doit pas descendre en-dessous de sa valeur minimale, p.ex. 18°C (voir le point 3.1.1). En présence d'un plafond froid, l'air fourni reste constant (sous-température n'excédant pas 6°C), tandis que la production de froid du plafond est régulée de manière à contrôler la température de la pièce. Cela réduit le risque de courant d'air.

La ventilation par déplacement convient bien pour les applications à volume d'air variable (VAV). Le débit de ventilation est commandé en fonction de la température de la zone d'occupation ou en fonction de la qualité de l'air. Quand ce sont les personnes qui sont la principale source de pollution, les capteurs de CO<sub>2</sub> sont idéaux pour contrôler la qualité de l'air. En comparaison des systèmes à volume

d'air constant (CAV), les systèmes VAV entraînent moins de frais d'exploitation et moins de risque de courant d'air durant les périodes de réduction du taux de renouvellement d'air.

On trouvera davantage de conseils sur les commandes utilisées pour la ventilation par déplacement en [1] et [6].

### 4.3.1 Emplacement des capteurs

Dans les pièces de hauteur normale, le capteur de température de l'air ambiant sera situé à 0.2 ~ 0.5 m au-dessus du sol si les diffuseurs sont posés au sol, ou juste au-dessus du sol dans le cas de systèmes de ventilation sous plancher. Cet emplacement bas réduit les fluctuations de température de l'air fourni et l'inconfort qui en résulte du fait du courant d'air.

Dans les pièces de hauteur normale, un capteur de qualité de l'air (p. ex. CO<sub>2</sub>) doit être situé à hauteur de respiration (ou jusqu'à 20 cm en-dessous si les occupants sont statiques), c.-à-d. entre 0.9 et 1.5 m au-dessus du plancher pour les pièces dont les occupants sont principalement assis ou debout. Dans les pièces hautes, le capteur de qualité de l'air se situe au point le plus haut probable de la zone d'occupation.

## 5 Mise en service, fonctionnement et maintenance

### 5.1 Equilibrage / mise en service

Le système de ventilation doit avoir des débits bien équilibrés avant d'être livré à son utilisateur. La conception du système doit donc permettre une mesure du débit et un équilibrage de chacun des diffuseurs séparément. Si l'on veut éviter un nombre excessif de points d'équilibrage, il est avantageux de construire le système de conduits en groupes symétriques (bifurqués). L'équilibrage peut alors se faire en groupes, avec un seul registre par groupe.

Le système de ventilation doit être nettoyé avant sa remise à l'utilisateur.

On trouvera davantage de conseils pour la mise en service en [7].

## 5.2 Fonctionnement et maintenance

Le système de ventilation doit être remis avec un manuel complet et simple pour la maintenance et l'exploitation journalière. Un fonctionnement et un entretien corrects nécessitent un service, des contrôles et un entretien réguliers.

## 6 Références

- [1] *Displacement ventilation in non-industrial premises*. Håkon Skistad (ed.). Brussels : Federation of European Heating and Air-conditioning Associations (REHVA), 2002.
- [2] S. Holmberg & Q. Chen. *Air flow and particle control with different ventilation systems in a classroom*. Indoor Air, 2003; 13; pp.200-204
- [3] K. Fitzner. *Displacement ventilation and cooled ceilings, results of laboratory tests and practical installations*. Proceedings Indoor Air 1996, Nagoya. Japan, Vol.1, p.41-50
- [4] Nordtest method: *Air Terminal Devices: Aerodynamic Testing and Rating at Low Velocity*. Finland : Nordtest, 2003. Available at <http://www.nordtest.org/>
- [5] T.H. Dokka & P.O. Tjelflaat. *Simplified models for prediction of vertical contaminant and temperature stratification in displacement ventilated rooms. Part 1 : Derivation*. 2000, Norwegian University of Science & Technology.
- [6] *CIBSE Guide H : Building control systems*. London : Chartered Institution of Building Services Engineers. 2000. <http://www.cibse.org/>
- [7] *CIBSE commissioning codes* (a series of guidance documents). Chartered Institution of Building Services Engineers, London, <http://www.cibse.org/>
- [8] ISO 7730. *Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*.
- [9] CEN CR-1752. *Ventilation for buildings – design criteria for the indoor environment*
- [10] A.K. Melikov & J.B. Nielsen Local thermal discomfort due to draft and vertical temperature difference in rooms with displacement ventilation. *ASHRAE Transactions*. 1989 pp 1050-1057.

---

Le **Centre de la Ventilation et des Infiltrations d’Air** est régi par l'annexe V du décret d'exécution de l'ECBCS de l'**Agence Internationale de l’Energie**. L'AIVC a pour principal objectif de fournir un forum technique et d'information international de grande qualité dans le domaine de la ventilation et de l'infiltration d'air dans les environnements bâtis portant sur l'efficacité énergétique, la qualité de l'air intérieur et le confort thermique. Cette initiative a pour principale motivation de répondre aux préoccupations nationales et internationales dans le domaine du développement durable, des changements climatique et de la salubrité des bâtiments.

L'**Air Infiltration and Ventilation Centre** est subventionné par les sept pays suivants: Belgique, Etats-Unis d'Amérique, France, Grèce, Norvège, Pays-Bas et République tchèque.