DIFFUSION DE L'AIR DANS LES BÂTIMENTS TERTIAIRES

Les bâtiments du secteur tertiaire abritent des activités très différentes les unes des autres qui vont du commerce à l'administration. La diffusion de l'air, partie terminale d'une installation de ventilation, influence directement la perception par l'occupant de son confort thermique et est étroitement liée à la qualité de l'air intérieur. Bien conçue, elle permet de renouveler efficacement l'air intérieur par de l'air neuf tout en d'évacuant les polluants ; elle contribue à maintenir dans les bâtiments un environnement sain.

Dossier coordonné par Jean Hrabovsky et Michel Laval

Diffusion d'air : conception et contrôle du confort dans les locaux

Conception des installations de ventilation

Efficacité de la ventilation

Mesure de débit d'air

Anne-Marie Bernard – AICVF / Directrice d'Allie'Air

La diffusion d'air est la partie visible d'une installation CVC et conditionne le confort dans le local, l'homogénéité des températures et les concentrations en polluants. Dans la plupart des cas du tertiaire, le seul confort des occupants est à considérer mais dans certains cas on peut avoir également à contrôler précisément : une température et/ou une humidité (chambres climatiques, aquariums, piscines…) ; des vitesses d'air (cabinets de soins, blocs opératoires, salles blanches…) ; des concentrations en polluants (laboratoires, caves à vin, pressings…) ou à traiter de fortes charges thermiques (serveurs informatiques, centres commerciaux…).

La norme NF EN ISO 7730 propose des conditions de confort dans une ambiance stabilisée, telle que dans des bureaux et divers bâtiments tertiaires. Pour ceux-ci elle donne en particulier des objectifs en température et en vitesse d'air mais aussi juge de critères tels que les asymétries de rayonnement, le gradient de température entre la tête et les pieds… Dans des ambiances dites transitoires (hall de transit, aéroports zone d'accueil…) où l'on reste peu longtemps, il faut adapter les critères.

En France, on tend à prêter une attention particulière aux courants d'air froids et on limite plus les vitesses en jet froid que dans les pratiques internationales et notamment américaines. On peut dimensionner l'installation en vitesse moyenne résiduelle et/ou en vitesse maximale dans la zone d'occupation (souvent située au point d'entrée du jet dans la zone).

Uniclima a édité un tableau de recommandations rappelant les objectifs de vitesse dans son Guide Conception d'une installation de diffusion d'air (éditions SEPAR) (› **tableau 1**).

Enfin, aux objectifs thermiques, il faut systématiquement ajouter un objectif acoustique lors de la conception de la diffusion d'air.

Choisir le type de diffusion d'air

On distingue :

- la diffusion à mélange, la plus traditionnelle, qui vise à brasser l'air pour obtenir une homogénéité de température et de pollution dans la zone d'occupation. Les diffuseurs sont caractérisés par leur induction, c'est-à-dire le débit secondaire qu'ils sont capables d'entraîner dans le jet (induire) à partir du seul débit soufflé. Les taux d'induction peuvent varier de

Type de locaux	V_r (m/s) vitesse résiduelle		T_{moy} (°C) dans la zone d'occupation		$\Delta T_{soufflage}$ (°C) moyen [maxi]	
	Jet froid	*Jet chaud*	*Eté*	*Hiver*	*Jet froid*	*Jet chaud*
Locaux à activité assise ou faible. Vêtements légers. Locaux à confort... Tels que bureaux Salles de conférence...	0,17 ± 15 %	0,20 ± 15 %	26 ± 2°	20 ± 1°	diffusion à mélange : 8° [12°]	diffusion à mélange : HSP ≤ 3 m 10° [12°] 3 < HSP ≤ 5 m 8° [12°] HSP > 5 m 6° [12°]
					déplacement 3° [4°]	déplacement 6° [8°]*
Locaux de passage, à activité forte, vêtements lourds... Tels que atriums, halls...	0,25 ± 15 %	0,30 ± 15 %	26 ± 2°	20 ± 1°	diffusion à mélange : 8° [14°]	diffusion à mélange : HSP ≤ 3 m 12° [15°] 3 < HSP ≤ 5 m 10° [15°] HSP > 5 m 8° [15°]
					déplacement 6° [7°]	déplacement 6° [8°]*
Locaux industriels	Selon application : poste assis : 0,2 – 0,25 m/s forte activité : 0,45 m/s process : à définir				8° [14°]	6° [8°]*

Tableau 1 Recommandations rappelant les objectifs de vitesse (document Uniclima)

6 à 15 ou 20. On brasse donc jusqu'à 20 fois le débit primaire, ce qui explicite le terme de mélange (> **Image 1**) ;

- la diffusion à déplacement, où l'air légèrement frais est diffusé à basse vitesse puis s'écoule doucement dans l'ensemble de la zone. La stratification naturelle autour des occupants et des sources chaudes crée un panache qui entraine vers le haut certains polluants - l'entrainement des polluants et de l'humidité dépend de leur volatilité et de leur température et peut nécessiter un dimensionnement spécial ou un captage complémentaire de la chaleur, afin de maintenir dans l'ambiance les conditions de confort souhaitées. La zone de diffusion autour du diffuseur, affectée par le jet, est dite « zone proche » et ne doit pas se situer dans la zone d'occupation - vitesse, température et humidité relative proches du jet (> **Image 1**).

Parmi la diffusion à mélange, on va distinguer selon la position de soufflage :

- les grilles murales, à ailettes ou linéaires (jet horizontal) ;
- les plafonniers carrés ou circulaires à jet horizontal ou vertical ;
- les plafonniers à effet tourbillonnaire (> **Image 2**) ;
- les linéaires à jet vertical ;
- les grilles de sol ou d'allège.

Et on rencontre aussi des variantes telles que :

- les diffuseurs longue portée (buses...) ;
- les gaines diffusantes textiles ou tôle perforée ;
- les poutres froides actives (> **Image 3**).

Le choix de la position du soufflage et de la reprise dépend des conditions de dimensionnement :

- en faible hauteur (< 3m environ), on dimensionne sur le jet froid en cherchant à éviter sa chute sur les occupants soit par un soufflage horizontal qui s'accroche au plafond (effet Coanda), soit par un effet tourbillonnaire.

L'objectif est alors d'assurer le confort dans les conditions du jet froid. La chute de l'air est d'autant plus facile et forte que ce dernier est froid. En air chaud, la faible hauteur et l'induction des diffuseurs vont suffire à éviter la stratification. Souvent ce sont des tableaux et abaques en isotherme qui sont employés pour dimensionner les installations

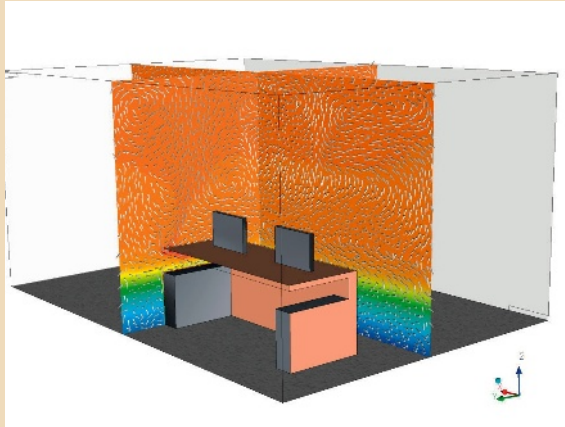


Image 1 Exemple de jet d'air et stratification en déplacement, simulation CFD (source PLS Fluid Dynamics)

sans que ce soit problématique à ces hauteurs ;
- en moyenne et grande hauteur, il est essentiel de pouvoir faire descendre l'air chaud jusqu'à la zone d'occupation, ce qui sera d'autant plus difficile que l'écart de température soufflage-ambiance est forte. Cependant lorsqu'on y arrive, le jet en mode froid tendra lui à se précipiter vers le bas, créant des inconforts. Si un compromis entre les deux modes est possible en moyenne hauteur (jusqu'à 5 m environ), il faudra une modification géométrique, de section et parfois d'orientation, pour atteindre les objectifs en grande hauteur. Cette modification peut être réalisée par une motorisation ou un déclenchement thermique ;
- en diffusion à mélange, même en grande hauteur, la reprise peut se situer n'importe où, sauf dans le jet primaire (éviter un court circuitage). Il est tout à fait possible d'avoir sur un même diffuseur la reprise et le soufflage juxtaposés sans court circuitage. Attention par contre, le fait de positionner une reprise en bas pour faire descendre l'air en grande hauteur est un mythe, seule la dynamique du soufflage peut faire descendre de l'air chaud et réduire la stratification ;
- en déplacement, le soufflage se fait à basse vitesse vers le sol et la reprise au plafond impérativement. En chaud, le système peut stratifier en grande hauteur et le concepteur devra alors, si le besoin de chaud est fort, étudier la solution (chauffage complémentaire, changement de mode de diffusion en industrie...). Il existe différentes méthodes de dimensionnement (dites thermique, panache, simulation CFD...).
Enfin, le choix du diffuseur doit intégrer :
- la gestion des fortes charges : les diffuseurs plafonniers carrés, tourbillonnaires et linéaires sont adaptés à la gestion des fortes charges, ainsi que le déplacement (en froid) ;
- la gestion des variations de débit : en VAV - Systèmes de conditionnement d'air en débit variable - on optimise généralement sur un débit à 70% du maximum, jugé nominal, pour obtenir sur toute la gamme de débit des conditions confortables, mais tous les diffuseurs ne sont

Image 2 Tourbillonnaire à fentes (source Lindab)

Image 3 : Poutre froide active (source France Air)

Normes à connaître

› **NF EN ISO 7730 Mars 2006** - Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local
› **NF EN 15726 Décembre 2011** - Diffusion d'air - Mesurages dans la zone d'occupation des pièces avec conditionnement d'air ou ventilation afin d'évaluer les conditions thermiques et acoustiques
› **NF EN 16211 Septembre 2015** - Mesurages de débit d'air dans les systèmes de ventilation – Méthodes
› **NF EN 13182 Juin 2002** - Prescription d'instrumentation pour les mesures de vitesses d'air dans des espaces ventilés
Et pour plus d'information sur la mesure des débits d'air, télécharger le guide pratique gratuit du Cetiat sur www.cetiat.fr

pas égaux face aux variations de débit et de portée. Le risque en réduisant les débits est un décrochement de l'effet Coanda, une mauvaise couverture de zone (création de zones mortes ou mal traitées) ou une portée verticale insuffisante en chaud. Certains diffuseurs peuvent présenter des variations de géométrie pour mieux s'adapter au VAV. Sinon, en général, les grilles murales supportent peu de variations de débit, les plafonniers permettent généralement une réduction de 30 % et les linéaires et tourbillonnaires jusqu'à plus de 50 %. Seule la diffusion par déplacement permet sans inconfort des variations de 0 à 100 % du débit maximal à condition que cette dernière soit bien asservie à la charge dans le local, à moins d'utiliser des solutions de variation séquentielles qui jouent sur le temps d'ouverture plutôt que directement sur le débit instantané ;

- la présence de baies vitrées : bien qu'elles soient de plus en plus isolées, le choix architectural de grandes baies peut encore nécessiter un traitement de ces dernières soit en préférant des jets en rideau d'air (exemple : diffuseurs linéaires à fente avec une fente verticale le long de la fenêtre et une ou plusieurs fentes horizontales vers le local) ou en allège.

L'ensemble de ces critères peut conduire à l'organigramme des figures 1 et 2, selon la hauteur sous plafond, recommandant le choix du diffuseur (› **Figures 1 & 2**).

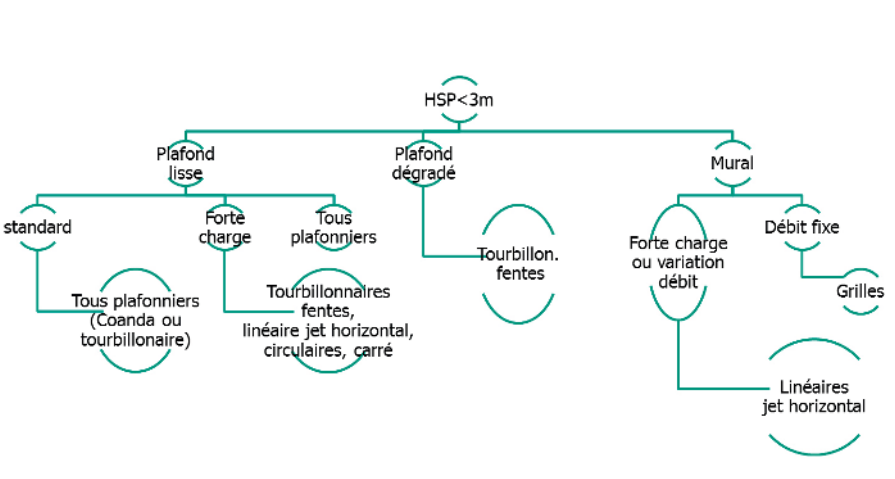


Figure 1 Organigramme de choix d'un diffuseur en faible hauteur sous plafond

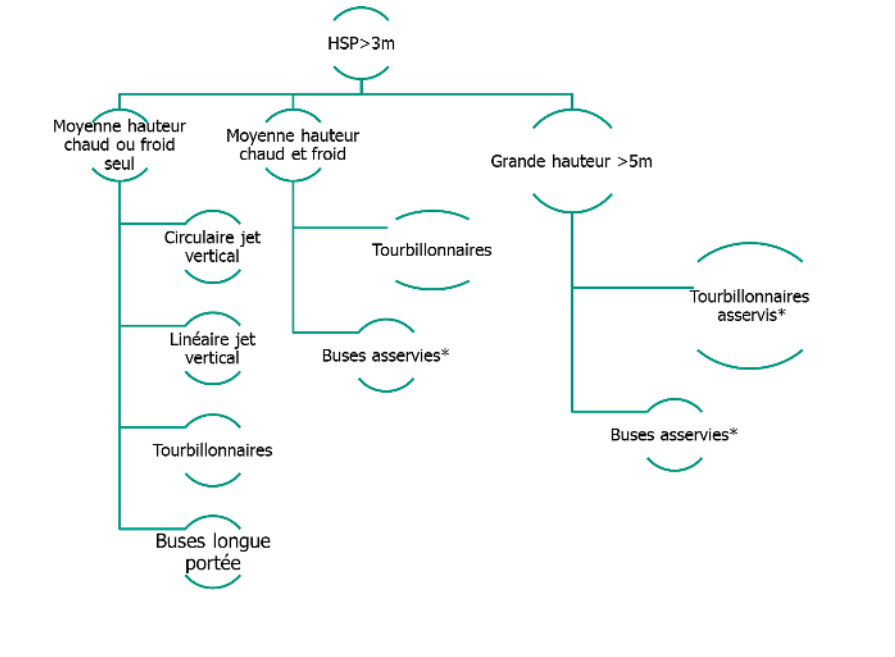


Figure 2 Organigramme de choix d'un diffuseur en moyenne et grande hauteur sous plafond

Diffusion d'air et Qualité de l'Air Intérieur (QAI)

La capacité du système à réduire la pollution s'exprime en efficacité de ventilation qui est définie par l'équation suivante :

$\varepsilon = (C_{rep}-C_{sou})/(C_i-C_{sou})$

Avec C_i concentration du polluant à l'intérieur, dans la zone d'occupation

C_{rep} : concentration à la reprise

C_{sou} : concentration au soufflage

Cette efficacité de ventilation peut varier d'un polluant à l'autre*.

Une diffusion à mélange parfait peut atteindre une efficacité de 100 % (homogénéité de la concentration dans tout le local). En déplacement où les polluants volatils sont évacués vers le haut où se trouve la reprise, la concentration en hauteur, dans la couche limite près du plafond, est forte et l'efficacité peut atteindre 150, 200 ou 800 %. En revanche, des polluants lourds et froids peuvent ne pas être entrainés. Sur les polluants généralement volatils du tertiaire (COV), on obtient facilement des taux assez forts (200 % en moyenne). Ceci signifie qu'à débit égal, un système à déplacement peut extraire deux fois plus de polluants mais pour ceci, son dimensionnement doit être suffisant. Le déplacement nécessite un débit minimal suffisant pour que le panache se crée, qui se dimensionne suivant les charges du local. Classiquement en tertiaire, on commence à l'atteindre autour de 20 à 25 m³/h par personne.

Le tableau 2 extrait du fascicule de documentation FD CEN/TR 16798-4 d'octobre 2017 [Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 4 : interprétation des exigences de l'EN 16798-3 - Pour les bâtiments non résidentiels - Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air] donne les efficacités. (› **Tableau 2**).

Focus sur les grandes hauteurs

La grande hauteur présente de réelles difficultés à être traitée mais l'enjeu énergétique est important : c'est la stratification

Diffusion de l'air	Jet froid Δθ < 0°C		Jet chaud		
	Vitesse réelle	Efficacité de ventilation	Δθ (fourni intérieur)	Efficacité de ventilation Plafond bas	Efficacité de ventilation Plafond haut
Jet de mélange horizontal	> 1,5 m/s	0,9 – 1,1	< 10 k	0,8 - 1	Non recommandé
	< 0,5 m/s	0,7 – 0,9	> 15 ou 20 k	0,4 – 0,8	Non recommandé
Jet de mélange vertical	Tous les diffuseurs	0,9 – 1,1	< 10 k	0,6 – 0,8	0,8 – 1[α]
			> 15 k	0,4 – 0,8	
Ventilation par déplacement		1,0 - 2		0,2 – 0,7	Non recommandé

[α] Appliquer cette valeur signifie que les diffuseurs utilisés sont turbulents ou à géométrie variable. Si des diffuseurs à géométrie fixe sont utilisés, ils sont restreints au chauffage seulement (pas au refroidissement) et à une sélection appropriée et soigneuse tenant compte de Δθ.

Tableau 2 Efficacité de ventilation - valeurs type d'après la norme TR 16798-4

de l'air chaud. Dans un supermarché où le rooftop boosté à fond ne permettait pas de chauffer la zone d'occupation, j'ai demandé à faire baisser la température de consigne de ce dernier. En effet, plus on augmente la différence soufflage-ambiance, moins le jet chaud descend. Sans être optimum il vaut mieux avoir un peu de jet chaud en bas que pas du tout. Le dimensionnement initial de cette installation avait été fait sur des abaques en isotherme et en grande hauteur, c'est insuffisant. Il est impératif de dimensionner ces systèmes en température.

On peut traiter les grands volumes en chauffage par :

- des jets verticaux du plafond : choisir des diffuseurs à forte induction pour brasser et déstratifier. NB : l'induction interne permet d'amener de l'air plus chaud de la Centrale de traitement d'air (CTA) ou du rooftop qui, mélangé dans le diffuseur, sortira moins chaud et ceci facilitera la descente. Cependant, c'est l'induction (externe) qui caractérise la déstratification ;
- des diffuseurs tourbillonnaires présentent un fort brassage et une très bonne capacité à traiter de fortes charges et des variations. Les tourbillonnaires à pales variables sont particulièrement adaptés à des très grandes hauteurs ou fortes charges. Ils permettent, bien dimensionnés et répartis dans le local, de réduire les gradients à environ 1 °C pour 10m de hauteur tout en ayant la possibilité de traiter sans inconfort une forte différence de température entre soufflage et ambiance. Par rapport à un système de chauffage traditionnel à 1 °C/m de gradient, on réalise des économies sensibles d'énergie sur la stratification et par le brassage sur le cout de transport de l'air ;
- des buses longue portée qui, orientées vers le bas en chaud (vers le haut en froid), vont permettre de traiter de grandes zones (> **Image 4**).

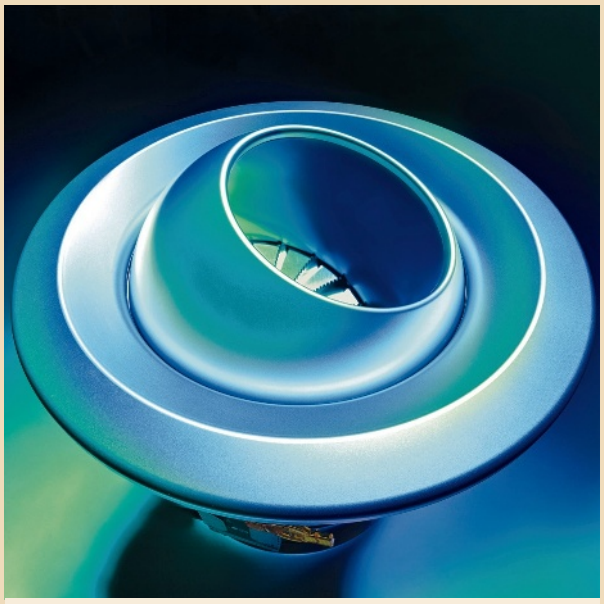


Image 4 Buse longue portée (source Trox)

Toutes ces solutions doivent impérativement être correctement alimentées en air c'est-à-dire :

- avoir une pression suffisante en amont pour permettre un soufflage correct (attention par contre au niveau sonore) ;
- éviter les pertes de charges et singularités fortes juste en amont ;
- préférer des registres amont en iris ou suffisamment éloignés pour ne pas déstabiliser le flux.

Mesure et réception

Il est essentiel de réceptionner correctement les installations et notamment leur diffusion d'air. De plus, dans le cadre de label HQE, la mesure du confort dans les locaux est souvent demandée.

Les mesures se font suivant la norme NF EN 15726 qui prévoit différentes étapes de diagnostic :

- une mesure de débit au diffuseur selon la norme NF EN 16211 adaptée aux

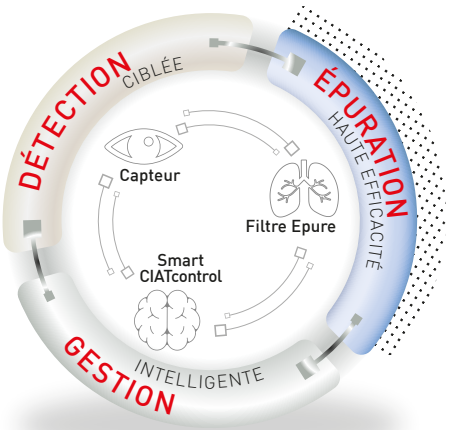
Composés organiques volatils (COV)

Ces nombreuses substances issues de diverses sources (peintures, colles, produits ménagers, PVC, combustion du bois…) se trouvent sous forme gazeuse dans l'air de nos ambiances intérieures notamment. Ils se diffusent largement du fait de leur volatilité. Certains ont des impacts avérés sur la santé comme par exemple le formaldéhyde.

PROTÉGEZ LES OCCUPANTS
DE L'IMPACT SANITAIRE DES PARTICULES FINES

ePURE DYNAMICS

La HAUTE QUALITÉ D'AIR INTÉRIEUR n'est plus un mythe. CIAT vous permet aujourd'hui d'intégrer la dépollution particulaire haute efficacité à chaque projet, en neuf comme en rénovation. La simple combinaison d'EPURE DYNAMICS au système de traitement d'air CIAT permet d'obtenir le meilleur système de décontamination des particules $PM_{2.5}$. Les études QAI, menées par le département Recherche et Développement de CIAT, associées à l'expertise des équipes techniques et commerciales, vous assure d'un accompagnement à la hauteur de vos exigences.



2017 TROPHÉES BÂTIMENT SANTÉ
LAURÉAT
Technologies innovantes d'amélioration de la Qualité d'Air Intérieur

CIAT

www.ciat.fr

mesures sur site. Certains diffuseurs de soufflage avec des jets décentrés ou tourbillonnaires sont difficiles à mesurer correctement avec des hottes si elles présentent insuffisamment de points de contrôle ou aucun dispositif interne d'homogénéisation ;
- une visualisation du jet au fumigène pour s'assurer qu'il est correct (pas de chute, portée suffisante…) ;
- des mesures de température et vitesse dans la zone d'occupation (qui par défaut commence à 50 cm des murs) en plusieurs points et sur au moins 3 hauteurs. Ces mesures suivent notamment l'axe du jet d'air car c'est sur ce dernier que des risques de vitesses élevées sont majoritaires. Les mesures dans la zone d'occupation sont impérativement réalisées avec un anémomètre omnidirectionnel (sphère chaude…) adapté (cf norme NF EN 13182). Elles permettront de reporter vitesses et températures dans les différents points, de calculer les paramètres de confort de la NF EN ISO 7730 : PMV et PPD et de reporter les valeurs moyennes et extrêmes notamment. (En aucun cas, un simple fil chaud bi-directionnel ne peut être employé pour des mesures de vitesse en dehors du jet d'air) (> **Image 5**). ■

** Source : Guide REHVA Ventilation Effectiveness, Mundt & al (http://aicvf.org/guidepublications/commander/)*

Image 5 Mesure de débit au diffuseur avec hotte (source Allie' Air).

Les indices de performance liant renouvellement d'air et QAI

Âge de l'air
Efficacité de renouvellement d'air
Efficacité de dépollution

Francis Allard – Professeur émérite des Universités

Pour s'assurer d'une bonne qualité de l'air, le seul taux de renouvellement d'air n'est évidemment pas suffisant. En fonction des systèmes de ventilation et de leur mise en œuvre, la capacité à apporter de l'air neuf en tout point du local et à extraire un polluant émis dans ce même local peut être en grande partie modifiée.

On a ainsi défini un certain nombre de grandeurs physiques, accessibles par la mesure ou la modélisation, qui permettent d'évaluer la performance de la ventilation vis-à-vis de ses deux fonctions premières: le renouvellement et la diffusion de d'air dans le local d'une part, l'extraction des polluants présents dans celui-ci d'autre part.

Âge moyen de l'air

On appelle constante de temps nominale du local τ_n(h), le quotient du volume du local ventilé V (m³) divisé par le débit volumique de renouvellement d'air Q(m³/h). On appelle τ (h) âge de l'air en un point le temps nécessaire pour une particule d'air entrant dans le local par le système de ventilation pour arriver en ce point, le temps alors nécessaire pour sortir du local est appelé temps résiduel. Si on effectue une mesure par gaz traceur ou une modélisation pour un grand nombre de points, on peut alors définir un âge moyen de l'air dans le local $\langle\tau\rangle$ (h). Cet âge moyen permet ainsi de caractériser la rapidité avec laquelle l'air frais est diffusé dans le local en tous points. Le temps de résidence de l'air dans le local correspond alors au double de l'âge moyen $\tau_r = 2 \langle\tau\rangle$.

Efficacité de renouvellement d'air

Le rapport entre la constante de temps nominale τ_n par le temps de résidence τ_r est appelé efficacité de renouvellement d'air ε^a. Les valeurs de cette efficacité varient selon les systèmes et la qualité de leur mise en œuvre ; pour une ventilation théorique par piston, elle serait de 1, pour une ventilation par mélange elle est de 0,5, et entre 0,5 et 1 pour une ventilation par déplacement. Si la ventilation est court-circuitée, elle peut devenir parfois largement inférieure à 0,5.

Efficacité de dépollution

Par analogie de raisonnement, si on considère l'air neuf comme propre, on peut définir également une efficacité de dépollution ε^p comme le rapport entre la concentration à l'extraction C_e d'un polluant émis dans le local et non présent dans l'air neuf, et $\langle C \rangle$ la concentration moyenne du polluant dans le local ventilé.
Ces deux efficacités de renouvellement d'air et de dépollution permettent de qualifier simplement les deux fonctions principales de la ventilation : l'apport d'air neuf et l'extraction de polluant. ■