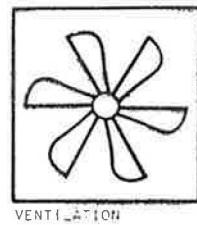


PROMOCLIM
Tome 20 n° 7
Décembre 1989



LA VENTILATION PAR DÉPLACEMENT D'AIR

G. TOURNIER et L. DAL ZILIO (Hesco France)

La ventilation par déplacement apporte une amélioration décisive aux performances des systèmes de ventilation.

Sa rentabilité est double : tout en réduisant les coûts d'installation mais surtout de fonctionnement et de maintenance, elle assure une réelle satisfaction du personnel grâce à l'amélioration considérable des conditions de confort.

Les avantages de ce système sont tels qu'il ne fait nul doute qu'il est appelé à s'imposer dans les prochaines années.

Les installations de ventilation et de climatisation sont aujourd'hui au cœur de nombreux débats. Aux critiques classiques faisant état de gênes dues aux courants d'air ou au bruit, s'ajoutent les préoccupations des hygiénistes soucieux de la qualité de l'air et celles des gestionnaires concernés par la maîtrise des coûts énergétiques.

Si chacun s'accorde à dire qu'une ambiance de qualité améliore considérablement le bien-être et la productivité, certains attribuent aux installations de climatisation la responsabilité de mysté-

rieuses maladies ou malaises collectifs. L'expression "bâtiments malsains" a trouvé sa place dans les conversations.

Après l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'amélioration de la qualité de l'air devient aujourd'hui une nouvelle priorité, un nouveau sujet d'investigations.

Il est fréquent de constater l'incapacité de la ventilation traditionnelle à maintenir longtemps des conditions de confort satisfaisantes dans des locaux à grande densité d'occupants ou très pollués, tels que salles de réunion, restaurants, salles de spectacle, ...

N'est-il pas temps de s'interroger sur l'efficacité de nos systèmes de ventilation et de climatisation et de leur aptitude réelle à satisfaire les exigences des utilisateurs ?

Une nouvelle solution de ventilation fait maintenant son apparition chez nous : la ventilation par déplacement d'air. Elle permet par sa très grande efficacité d'améliorer sensiblement le confort, l'hygiène et de réduire les coûts énergétiques.

Si le principe en est simple, sa mise en œuvre correcte implique une bonne connaissance des divers phénomènes aérauliques régissant la diffusion de l'air.

Dans les lignes qui suivent, après avoir exposé la différence de concept entre la ventilation conventionnelle et la ventilation par déplacement d'air et décrit brièvement la conception originale des panneaux diffuseurs REPUS, nous nous attacherons à démontrer la plus grande efficacité de ce nouveau concept de ventilation.

LA VENTILATION CONVENTIONNELLE

La ventilation conventionnelle repose sur le principe de la dilution des contaminants et de la chaleur dans l'espace, de manière à maintenir la qualité de l'air à un niveau acceptable. Ceci exige que l'air ambiant soit constamment mélangé à de l'air traité en débit suffisant grâce à un brassage soigneusement entretenu.

Dans un tel système, l'air est donc soufflé à grande vitesse (généralement à hauteur de plafond) et suffisamment sous-refroidi.

Par l'échange thermique qu'assure l'induction, les apports sont absorbés par l'air soufflé ainsi réchauffé jusqu'à une température égale à celle souhaitée dans l'ambiance.

Si l'induction est complète, des conditions homogènes sont obtenues dans l'espace, de sorte que la température d'extraction est égale à celle de l'ambiance.

Ces considérations s'appliquent de manière identique aux concentrations de polluants, les-
quelles se trouvent également distribuées de façon homogène en cas d'induction complète.

La grande faiblesse de ce système est que l'induction d'air secondaire (pollué) par de l'air neuf implique nécessairement que la chaleur, les poussières, allergènes et fumées présents dans le haut du local sont à nouveau refoulés vers la zone d'occupation. **Le niveau moyen de contamination de cette zone reste ainsi toujours largement supérieur à celui de l'air traité.**

De plus, le contrôle de la circulation de l'air est délicat à hautes vitesses de soufflage. Mauvais réglages, dimensionnements inadéquats, perturbations ou effets secondaires imprévus sont autant

de causes de courants d'air désagréables. La mise en oeuvre de systèmes à débit variable exige en outre l'utilisation de dispositifs coûteux pour maîtriser les flux de toutes les valeurs de débit.

LA VENTILATION PAR DÉPLACEMENT

Toute activité, source de chaleur et de pollution, génère un flux convectif vertical qui, s'il n'est pas perturbé par des courants d'air, évacue hors de la zone d'occupation l'air chaud et contaminé. Celui-ci doit bien sûr être alors remplacé par de l'air frais.

Ce principe est exploité de la manière suivante. Les panneaux diffuseurs répandent l'air frais au niveau du sol, directement dans la zone d'occupation. Introduit à très faible vitesse, sans le moindre courant d'air, à une température légèrement inférieure à celle de l'ambiance, l'air, grâce à sa plus grande densité, emplit la partie basse où il remplace progressivement l'air chauffé et pollué, lequel s'élève pour être extrait en haut du local (Figure 1).

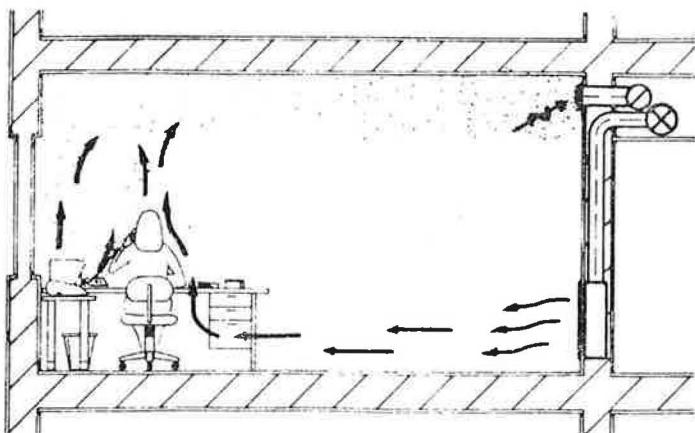


Figure 1 : Le flux d'air à la température légèrement inférieure à l'ambiance est ascendant autour des sources de chaleur

Ainsi le système ventile en premier lieu les parties occupées d'un local. Il y maintient les concentrations en polluant et les températures à un niveau largement inférieur à celui mesuré aux points d'extraction.

L'expérience a montré qu'il s'établit un gradient de température sur la hauteur du local. Celui-ci ne couvre toutefois pas la totalité du réchauffement que subit l'air soufflé entre le moment où il est introduit et celui où il est extrait. Une part de ce réchauffement est produit par un certain effet d'induction localisé que l'on observe dans une zone très proche des panneaux (dite zone adjacente) qu'il convient de déterminer cas par cas.

L'air soufflé peut y voir sa température croître déjà de l'ordre de 30 à 50 % de l'écart total de température soufflage-extraction. En dehors de cette zone, on admettra la parfaite homogénéité de la température dans un plan horizontal.

la température dans un plan horizontal.

Prenons le cas d'un local bas (3 [m] de hauteur) où l'on désire une température de référence de 25 [°C] à 1 [m]. La figure 2 montre le profil des températures obtenues par le choix d'une température de soufflage de 18 [°C]. En dehors de la zone adjacente, couvrant une distance de l'ordre de 0,5 [m] autour de la bouche de soufflage, nous mesurons de valeurs de 23,2 [°C] au niveau du sol et de 28,5 [°C] au niveau du plafond.

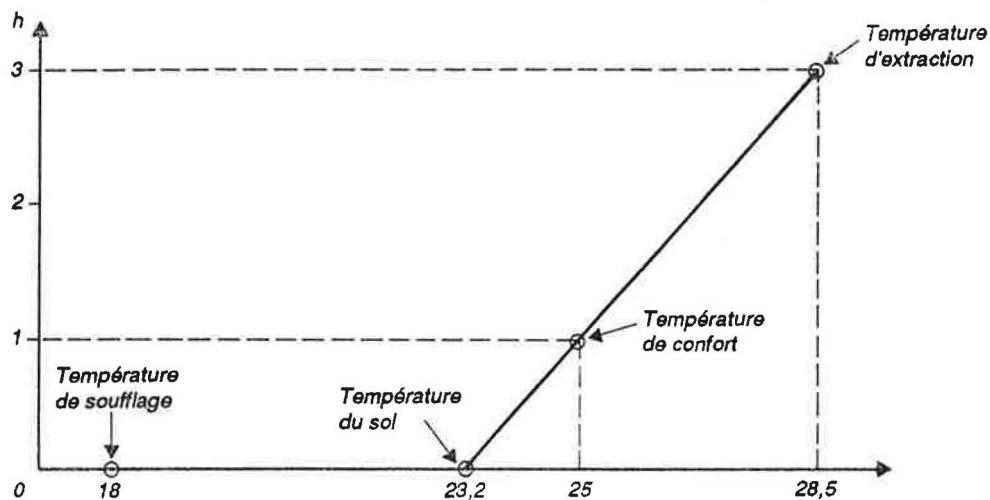


Figure 2 : Le fort gradient vertical de température est quasi linéaire.

Du point de vue des concentrations en polluants, une modélisation plus appropriée à la réalité consiste à admettre l'existence de deux zones : l'une, propre, couvrant la partie occupée du local et l'autre, viciée, en partie supérieure (figure 3).

La limite de séparation s'établira à une hauteur définie en fonction des valeurs relatives des débits soufflés et générés par les charges thermiques.

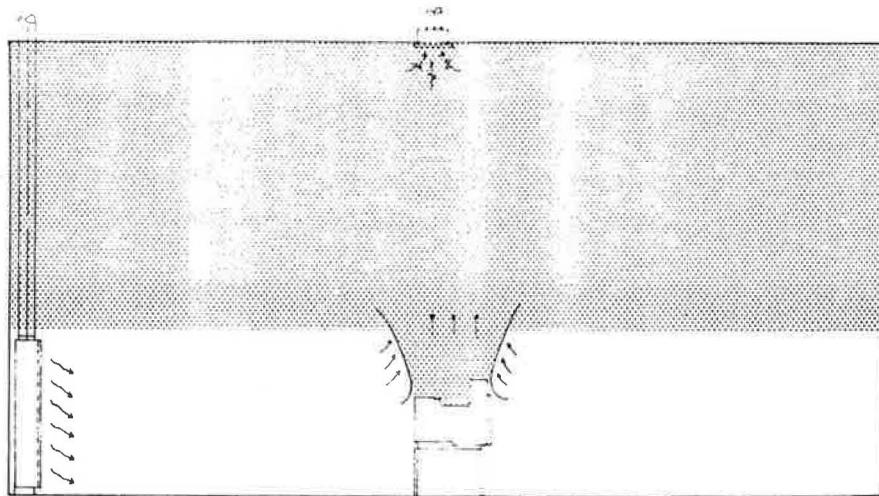


Figure 3 : Le débit d'air soufflé doit être suffisant pour maintenir la limite de séparation à une hauteur couvrant largement la zone d'occupation.

La figure 4 représente les profils de concentration tels que l'on peut les observer dans les deux types d'installations.

Par ailleurs, signalons qu'il existe d'autres techniques visant à mettre à profit un gradient de température. On songe ici au soufflage par le sol, consistant au soufflage au-travers de nombreuses bouches à faible débit réparties dans le plancher.

Ce système nécessite néanmoins un faux-plancher ; dans celui-ci l'espace disponible est pratiquement encombré dans sa totalité par les équipements que nécessite le système de distribution vers les nombreuses bouches. La disposition de celles-ci est dépendante des activités des occupants et de leurs exigences ; leur nombre multiplie en outre le risque d'inconfort.

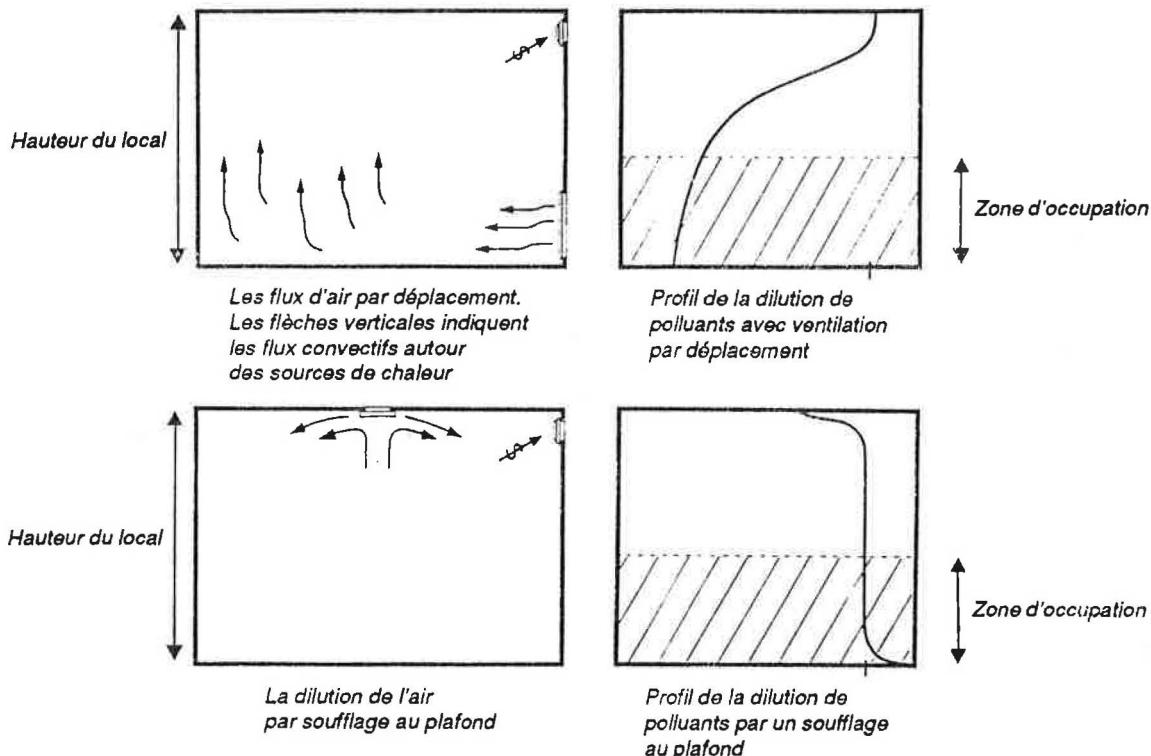


Figure 4 : Quelques illustrations des différences essentielles entre la ventilation classique et la ventilation par déplacement.

LES PANNEAUX DIFFUSEURS

La ventilation par déplacement est réalisée en introduisant l'air à très basse vitesse : entre 0,1 et 0,5 [m/s] selon les applications.

Ceci nécessite un contrôle très strict de ces vitesses et leur uniformité pour l'ensemble de la surface de soufflage.

La difficulté est la transformation d'un flux réalisé par des jets à haute vitesse, souvent tangentiels, en un flux, à basse vitesse, homogène, pseudo-laminaire.

Différentes solutions technologiques sont utilisées :

- Une ou plusieurs plaques perforées superposées ;
- Des résultats plus probants sont obtenus par l'utilisation de filtres ou de matériaux textiles, mais au prix de pertes de charges élevées et de contraintes d'entretien du filtre ;
- L'utilisation de tuyères placées sur une plaque qui sépare un caisson en deux volumes (Figure 1) est la solution choisie pour les panneaux REPUS. Les tuyères ...

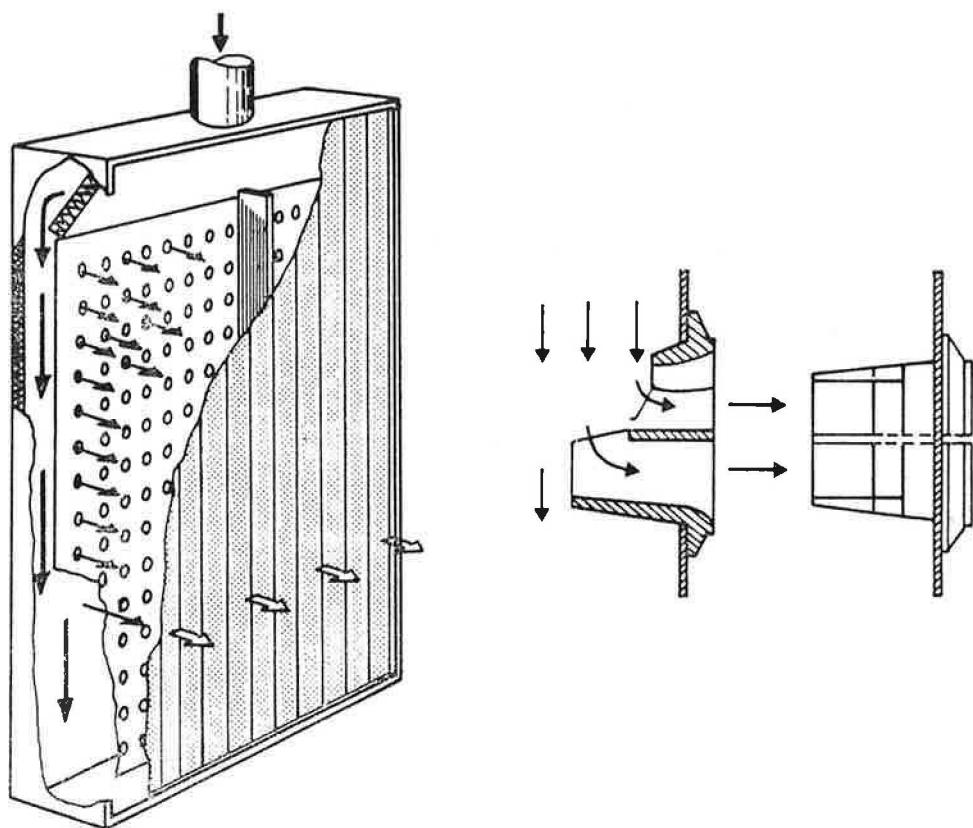


Figure 5 : Vue écorchée d'un panneau diffuseur pour l'introduction d'air. La plaque centrale est équipée de tuyères (document HESCO).

Les tuyères ont un profil qui assure une égale répartition des débits entre chacune d'entre-elles indépendamment de leur position.

Quelques centimètres devant cette plaque se trouve la tôle perforée constituant l'écran, visible du caisson.

Cette tôle perforée permet une certaine induction, très localisée, mais sans turbulence et donc sans brassage à l'échelle des dimensions du local.

Les vitesses impliquées dans ces échanges sont du reste très faibles. Cette induction permet l'adoption de températures de soufflage sensiblement inférieures, de 3 à 5 degrés, aux températures mesurées dans l'ambiance.

Les panneaux existent en diverses exécutions : panneaux muraux, plats, à base carrée (2, 3 ou 4 directions, particulièrement appropriées aux halls industriels), ronds, demi-ronds ou quart-de-ronds (applications de confort) dans les locaux où le confort est exigé.

UNE EFFICACITÉ DE VENTILATION ACCRUE A MOINDRE COÛT

Tout système de ventilation a pour fonction d'assurer, par un renouvellement d'air adéquat, un niveau donné de pureté de l'air. Associé à une installation de réfrigération, il doit en outre maintenir la température ambiante dans une fourchette réputée confortable.

Une terminologie et une méthodologie ont été développées pour évaluer les performances de l'installation. C'est ainsi qu'il peut être intéressant de comparer le résultat obtenu en matière de qualité et température d'air au coût qu'il a fallu consentir pour y parvenir.

Nous pouvons ainsi définir les notions d'efficacité de réfrigération et de ventilation. La première prend compte des considérations de température et est définie par le rapport :

$$\varepsilon_t = \frac{T_e - T_s}{T_r - T_s}$$

T_e : température d'extraction

T_s : température de soufflage

T_r : température ambiante

Le numérateur est proportionnel à la charge calorifique à extraire :

$$P_c = \rho \dot{V} C_p (T_e - T_s)$$

Le dénominateur varie linéairement avec la puissance de réfrigération à laquelle est liée le coût énergétique.

La puissance de réfrigération s'exprime par :

$$P = \rho \dot{V} C_p (T_x - T_s)$$

où T_x est la température à l'entrée du groupe de soufflage.

Nous pouvons écrire :

$$p = \rho \dot{V} C_p (T_x - T_s) = \rho \dot{V} C_p [(T_x - T_r) - (T_r - T_s)]$$

T_x et T_r étant deux paramètres fixés par les conditions de fonctionnement, on a :

$$p = k_1 + k_2 (T_r - T_s)$$

En ventilation conventionnelle, dans le meilleur des cas, les températures d'extraction et d'ambiance se confondent ($\varepsilon_t = 1$). En pratique, par suite de "courts-circuits", dont l'importance dépend de l'implantation des bouches, ce rapport est même généralement inférieur à l'unité.

Avec la ventilation par déplacement, caractérisée par l'obtention de températures d'extraction largement supérieures à celles exigées dans l'ambiance, il est possible d'atteindre des valeurs de l'ordre de 1,5 jusqu'à 5 pour des locaux de grande hauteur.

Dans l'exemple cité ci-dessus ($T_r = 25$ [°C], $T_s = 18$ [°C], $T_e = 28,5$ [°C]), on obtient : $\varepsilon_t = 1,5$.

Du fait du relèvement sensible de la température d'extraction, il devient possible pour évacuer une charge calorifique donnée, soit de profiter de l'augmentation de l'écart de température obtenu pour réduire le débit (maintien d'une température de soufflage basse), soit de maintenir celui-ci et relever la température de soufflage, soit encore combiner ces deux effets.

En pratique, on ne choisira pas une température de soufflage trop basse afin de garder la valeur du gradient vertical dans des limites acceptables inférieure à 2 degrés par mètre environ.

De plus, le débit soufflé ne peut descendre en-dessous des valeurs de renouvellement minimales. Les températures de soufflage adoptées seront donc généralement supérieures aux valeurs usuelles 18 ... 19 [°C]. **En toute hypothèse, le gain sur la puissance de refroidissement est sensible.**

Retenant une fois encore l'exemple du local de 3 [m], on observe que pour une même charge, et considérant dans le cas classique une température de soufflage de 16 [°C], l'écart de température est de 10,5 [°C] en ventilation par déplacement contre 9 [°C] en ventilation classique ; le débit est donc réduit de 14 %. Compte tenu de ce que la température de soufflage est parallèlement relevée, il en résulte une réduction de la puissance installée de l'ordre de 27 %. Des chiffres encore meilleurs pourraient être obtenus dans des locaux de plus grande hauteur. De plus, du point de vue de la consommation, on observera la possibilité d'une utilisation plus étendue de la technique du rafraîchissement naturel (free cooling).

Il faut noter néanmoins que ce chiffre de 27 % se rapporte au cas d'un fonctionnement à 100 % d'air frais. En cas de recyclage, le gain sur la puissance des machines frigorifiques serait réduit par suite du retraitement d'un air extrait à plus haute température.

Le tableau I reprend toutes les données chiffrées relatives à l'exemple précédent, en considérant deux choix-limites du débit d'air neuf. En réalité, le recyclage est partiel et l'économie réalisée dépendra essentiellement du taux de recyclage.

Dans les locaux à forte occupation (salles de réunion, restaurants), on le choisira très faible voire

nul. L'économie, tant sur l'investissement que sur les coûts de fonctionnement, est appréciable. Dans certains cas, il est même possible d'envisager un fonctionnement tout air neuf là où un système classique exigerait le choix du recyclage.

Cas d'un local de 3 [m] de hauteur	Ventilation Classique	Ventilation par déplacement
Température de soufflage	16 [°C]	18,0 [°C]
Température d'extraction	25 [°C]	28,5 [°C]
Ecart de température	9 [°C]	10,5 [°C]
ϵ_t (efficacité)	1 [°C]	01,5 [°C]
Débit (pour 60 [W/m ²])	20 [m ³ /h m ²]	17,1 [m ³ /h m ²]
Gain		14 %
Fonctionnement à 100 % air neuf		
Variation d'enthalpie	20 [kJ/kg]	17 [kJ/kg]
Puissance de la batterie	133 [W/m ²]	97 [W/m ²]
Gain		27 %
Fonctionnement à minimum d'air neuf (3 [m ³ /h m ²] d'air neuf)		
Δh^*	11,5 [kJ/kg]	13 [kJ/kg]
Puissance de la batterie	77 [W/m ²]	74 [W/m ²]
Gain		4 %

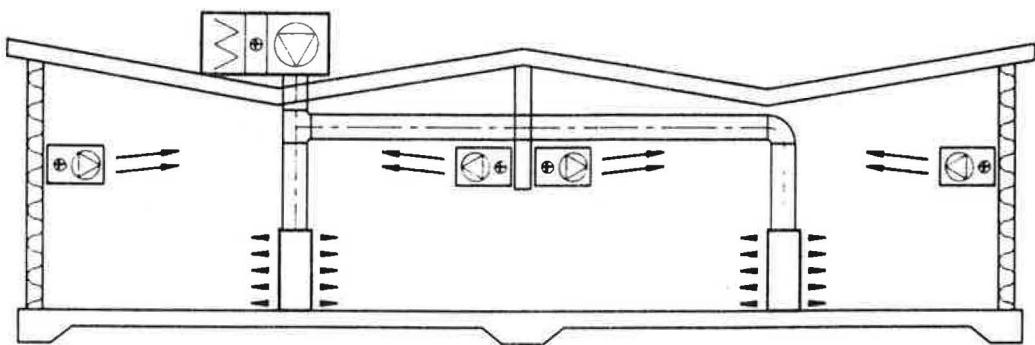
* : Conditions extérieures : 30 [°C], 50 % d'humidité relative.

Tableau 1 : Une comparaison entre ventilation classique et par déplacement pour le cas d'un local de hauteur 3 [m], par exemple.

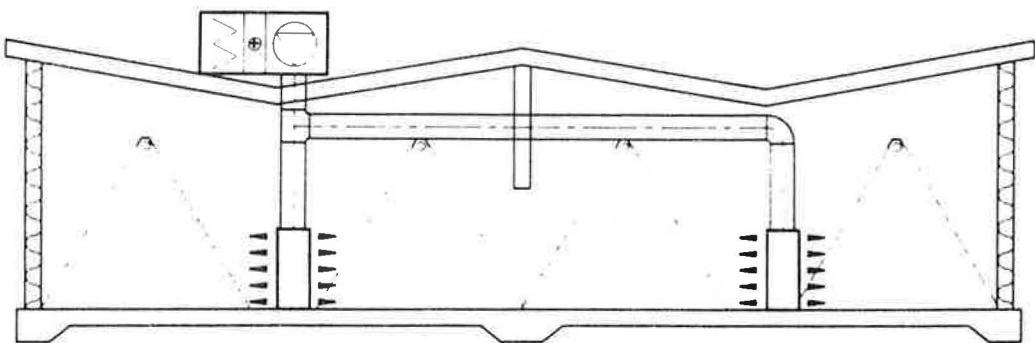
On définit, par ailleurs, l'efficacité de ventilation par le rapport :

$$\epsilon_v = \frac{C_e - C_s}{C_r - C_s}$$

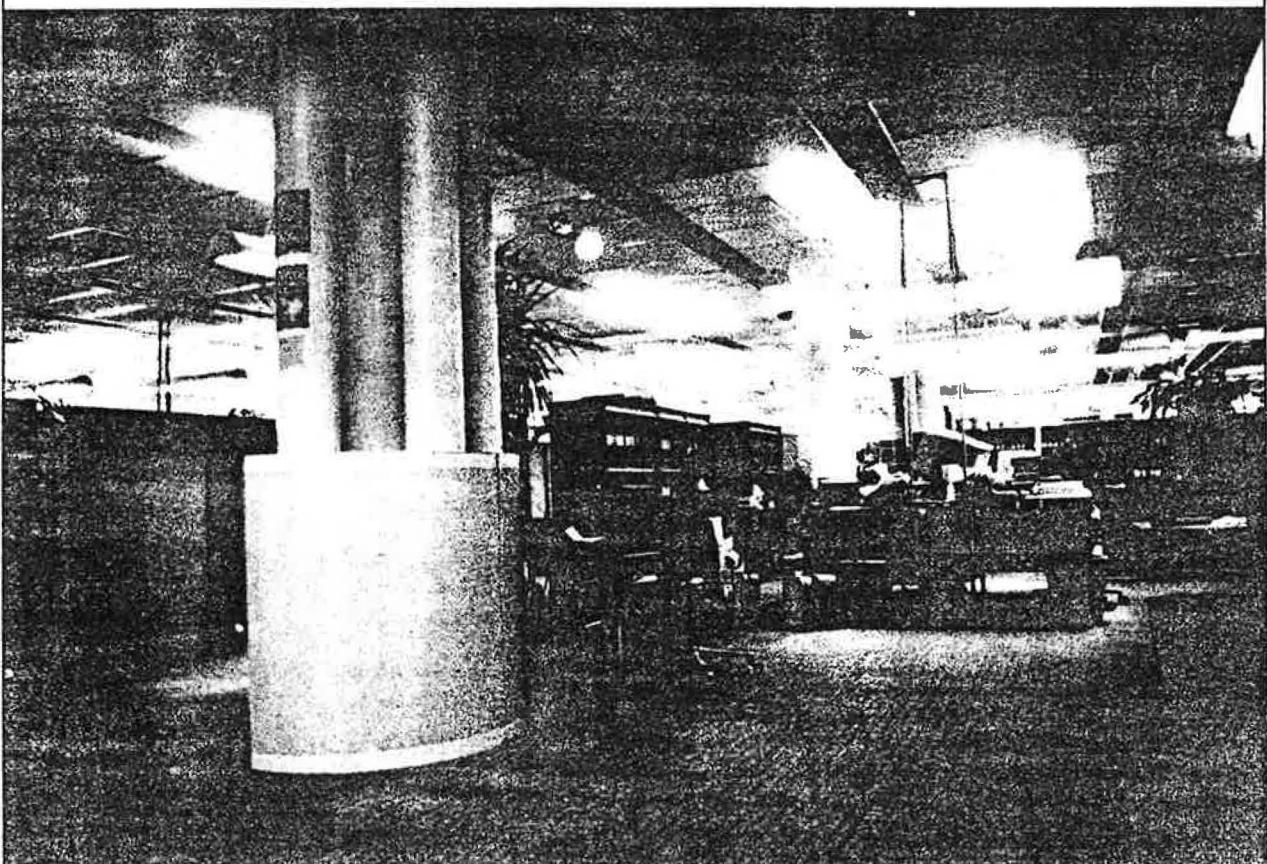
où C_e , C_s et C_r sont les concentrations de polluants respectivement à l'extraction, au soufflage et dans l'ambiance. Cette efficacité peut varier de 2 à 20.



Chauffage par aérothermes. Les diffuseurs sont placés au niveau de la zone d'occupation, les aérothermes soufflent à une hauteur supérieure, un mètre plus haut environ.



Chauffage par émetteurs rayonnants. La zone chauffée par rayonnement doit couvrir la totalité du sol.



Dans un bâtiment industriel, la ventilation par déplacement peut être mise en place avec un système de chauffage par aérotherme ou par panneaux rayonnants.

Dans le cas de locaux, industriels ou semi-industriels, où seule une ventilation efficace est requise, sans traitement de réfrigération, il est sans doute plus opportun de conserver les débits tels que déterminés dans une installation conventionnelle, tout en profitant de cette efficacité accrue pour diminuer les concentrations en polluants dans les zones d'occupations.

A débits de ventilation inchangés, celles-ci pourront, dans la plupart des cas, être diminuées de plus de la moitié. **La ventilation par déplacement contribue de manière décisive à l'amélioration de la qualité de l'air.** Lorsqu'existent des exigences simultanées de ventilation et de refroidissement, il sera également préférable, pour les mêmes raisons, de maintenir des valeurs normales de débit mais de relever les températures de soufflage. On tendra également vers une réduction du recyclage puisque celui-ci tend à annuler l'avantage de la plus grande efficacité de ventilation (concentration en polluants plus grande dans l'air extrait).

DOMAINES D'APPLICATION

La ventilation par déplacement trouve de nombreuses applications : industrielles (grands halls, ateliers, ...), semi-industrielles (buanderies, cuisines, ...) et de confort (bureaux, restaurants, salles de spectacle, ...). Les conditions les plus favorables permettant d'envisager ce type d'installation sont :

- charges calorifiques importantes à évacuer ;
- taux d'occupation important ou fortes productions de pollution imposant des taux de recyclage faibles ou nuls ;
- grandes exigences en matière de qualité de l'air ou de confort ;
- soucis de réduire les coûts d'investissement et de fonctionnement ;
- hauteur sous plafond importante permettant de maximiser le taux d'efficacité.

Il va sans dire que ces conditions sont de plus en plus souvent remplies :

- Les charges calorifiques ont tendance à augmenter (développement et décentralisation de l'informatique dans les immeubles de bureaux) ;
- Les exigences de confort se renforcent (les courants d'air sont de loin le facteur d'inconfort le plus sensible), de même que celles relatives à la qualité de l'air ;
- Enfin, les problèmes d'investissement et de coût de fonctionnement sont directement liés à la rentabilité et à la compétitivité des entreprises.



Cet article comporte des extraits de la publication de :

P. BLAUDET et Ph. GILLET (Fabricom Air Conditioning S.A)

"La ventilation supplétive ou ventilation à induction conventionnelle : un nouveau choix s'impose"

Revue Chaleur et climats 603/89/03
avec l'autorisation des auteurs et de l'éditeur