



# Les systèmes de diffusion de l'air par déplacement

## Les magasins FNAC

Jacques BENOIST, président directeur général du BET Riba

Jacques Benoist expose les principes de base des systèmes de diffusion de l'air par déplacement et détaille les paramètres de dimensionnement qui sont à la fois fonction du traitement de l'air et du système de diffusion.

Il précise quels sont les points forts et les points faibles. Globalement, les diffuseurs possèdent de nombreuses qualités qui répondent aux exigences actuelles.

La ventilation par déplacement fit son apparition en Suède au début des années 1970. Son « invention » permit de réaliser la première installation conçue pour résoudre les problèmes de ventilation générale posés par un immense atelier de soudure.

Dans un premier temps, les applications de ce système restèrent concentrées dans le secteur industriel, puis, dans les années 80, les systèmes à déplacement firent leur apparition dans les applications de climatisation pour des commerces, restaurants, salles de spectacles et bureaux paysagés.

D'une découverte basée sur l'empirisme, allait sortir un nouveau système de diffusion d'air avec des règles entièrement nouvelles et, par certains aspects, à contre-courant de ce qui se faisait, mais sans jamais faire défaut aux lois de la convection naturelle.

Depuis son lancement sur le marché français, en 1985, un certain nombre de constructeurs parmi les plus connus ont développé des produits et apporté leur contribution à la connaissance de ces systèmes permettant de répondre à la demande sans cesse croissante.

Au départ de cette technique, les diffuseurs disponibles sur le marché avaient une apparence industrielle qui ne facilitait

pas leur intégration dans le tertiaire. Depuis, leur « design » s'est amélioré avec l'apparition d'accessoires esthétiques à même de satisfaire les architectes et les maîtres d'ouvrages les plus exigeants.

Aujourd'hui de très nombreuses références témoignent de l'intérêt des professionnels pour ces systèmes.

Leurs qualités intrinsèques et leur adaptation aux exigences des utilisateurs font qu'ils sont promis à un bel avenir.

### Les principes de base

Les bases du fonctionnement des systèmes à déplacement reposent sur la conjonction de deux phénomènes distincts, en parfaite harmonie avec les lois de la nature.

### La diffusion

Le premier concerne la diffusion d'air elle-même et repose sur une loi physique simple.

L'air froid est plus dense que l'air chaud et, par conséquent, a tendance naturellement à se répandre sur le sol et à remplir la partie basse du volume à traiter.

L'air est donc amené par des réseaux de gaines classiques jusqu'à des diffuseurs spéciaux, en général posés au sol, conçus

pour éviter ou minimiser tout phénomène d'induction d'air en sortie de grille, et assurer une diffusion homogène quelle que soit leur géométrie.

Dans ces conditions, l'air introduit à une température légèrement inférieure à la température ambiante, s'écoule du diffuseur et se répand sur le sol (fig. 1). Un écart de 0,5 °C est suffisant pour créer cet écoulement.

La distribution de l'air se réalise ainsi « en masse ou volume spécifique » et non pas en « portée » comme dans un système utilisant des diffuseurs fonctionnant selon le principe de l'induction (fig. 2). Dans la diffusion d'air par déplacement, la notion de portée d'air n'existe pas. Cette couche d'air se répartit sur l'ensemble de la surface du local à traiter et assure ainsi sa fonction de ventilation dans la zone d'occupation au sol.

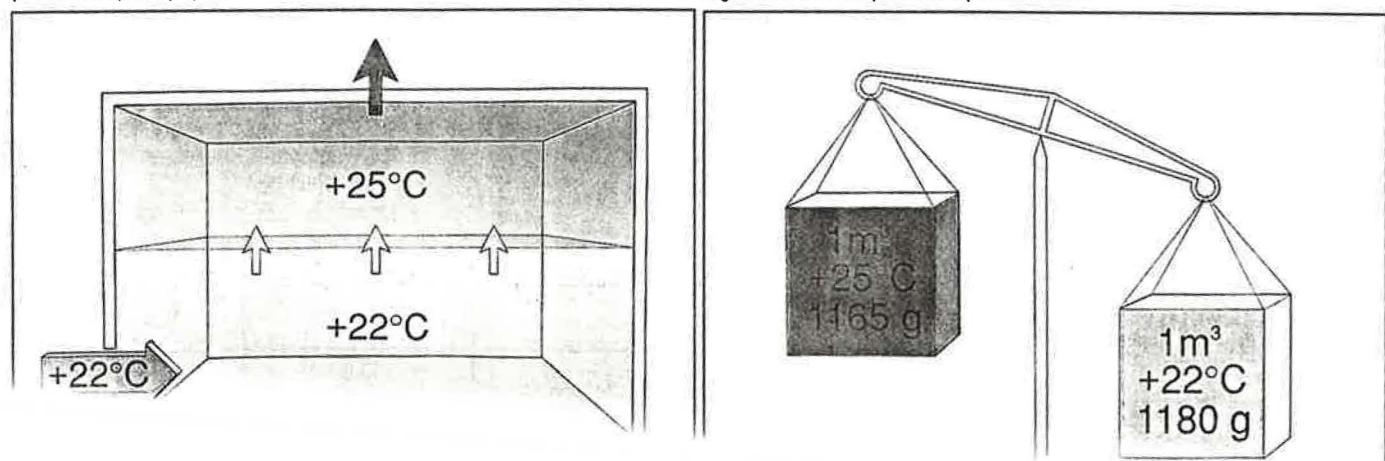
### Le tirage thermique

Le deuxième phénomène est lié à la présence de sources thermiques dans la zone d'occupation du local à traiter.

Ces sources thermiques, de différentes natures, peuvent provenir des occupants, des machines, de la bureautique, des dispositifs d'éclairage, des apports par transmission et par ensoleillement. En général,

Fig. 1. Distribution d'air en masse spécifique (ou volume spécifique).

Fig. 2. L'air froid est plus lourd que l'air chaud.



elles se caractérisent par une température de surface plus élevée que l'air ambiant environnant.

Il y a donc échange de chaleur entre ces sources et leur environnement, sous trois formes : le rayonnement, la conduction, la convection.

Cette dernière nous intéresse, car elle se manifeste par le déplacement de l'air environnant le long de la paroi dont la température est différente.

L'air ambiant s'échauffe au contact de ces sources, il devient moins dense et s'élève. Il échange en même temps une partie de sa chaleur avec l'air environnant, qui est ainsi mis en mouvement ascendant (fig. 3).

Ce processus d'entraînement et d'ascension s'arrête lorsque la veine d'air ainsi développée atteint une couche d'air de densité égale (volume spécifique égal).

La complémentarité des deux phénomènes crée le déplacement.

#### Le déplacement

En effet, l'air en provenance des diffuseurs, réparti au niveau du sol, « déplace » et remplace en permanence la quantité d'air qui s'élève des sources de chaleur par effet de tirage thermique.

Il y a stratification et les couches de température ainsi créées ont la particularité d'être assez homogènes en température dans le plan horizontal.

En dehors des zones de convection, la transmission entre les couches se fait par conduction évitant ainsi toute discontinuité de température entre elles.

Un équilibre s'établit dans la zone d'occupation de telle sorte que la température des couches s'élève avec la hauteur par rapport au sol.

Cette homogénéité des couches d'air ne se réalise que jusqu'à une certaine altitude dans le local, qui correspond exactement à l'égalité entre la somme des débits convectifs engendrés par les sources thermiques et le débit d'air introduit par les diffuseurs.

Cette limite est appelée ligne de séparation. Elle sépare le local en deux volumes distincts, le premier qui correspond à la zone d'occupation et le deuxième à la zone supérieure à température plus élevée.

La zone d'occupation est le volume dans lequel doivent être maintenues les conditions climatiques pour lesquelles l'installation est dimensionnée.

La zone supérieure est la zone tampon où transite l'air avant d'être capté par des orifices d'extraction situés en partie supérieure du local. Ces orifices, de conception classique, sont reliés par un réseau de gaine traditionnel à des ventilateurs de reprise ou d'extraction.

#### Paramètres de dimensionnement

Les paramètres de dimensionnement des systèmes à déplacement peuvent se répartir en deux groupes.

D'une part, les valeurs « système » caractérisent celles liées au dimensionnement de l'installation centralisée de traitement d'air.

D'autre part, les valeurs de « diffusion »

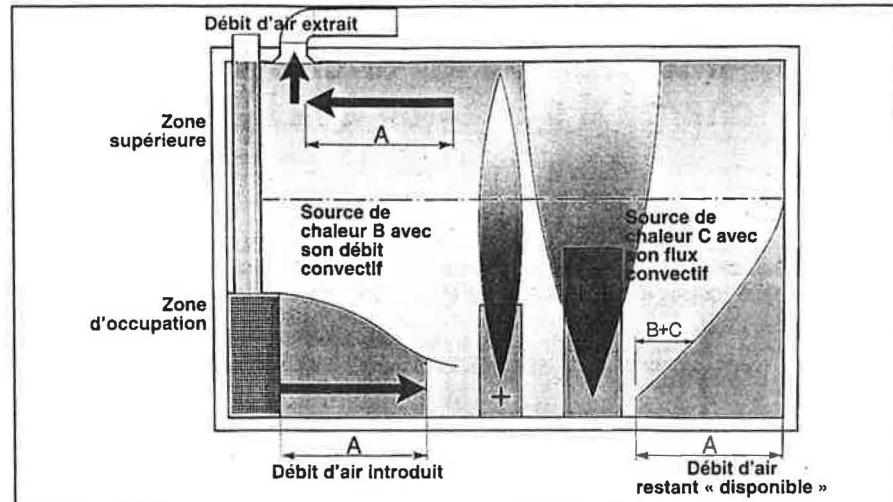


Fig. 3. Interaction entre les débits convectifs engendrés par les sources thermiques et le débit d'air introduit par le diffuseur, créant la « ligne de séparation ».

caractérisent le nombre, l'emplacement, la géométrie, les distances de confort, le niveau sonore ... des diffuseurs, de leurs caractéristiques intrinsèques et de leur environnement.

#### Les valeurs systèmes

Les calculs ont comme objectifs de déterminer, pour les charges thermiques maximales du projet, les paramètres de dimensionnement : le débit d'air à introduire et sa température de soufflage.

Ceux-ci permettent de maintenir la température moyenne désirée dans la zone d'occupation avec des gradients de température compatibles avec le type d'activité pratiqué dans cette zone.

La grande différence dans les calculs entre les systèmes à déplacement et les systèmes à induction repose sur le fait qu'en déplacement on ne prend en compte qu'une partie du volume : la zone d'occupation. Seules les charges thermiques produites dans cette zone, ainsi que celles résiduelles en provenance de la zone supérieure, sont à prendre en compte.

A priori, la charge thermique de base prise en considération sera plus faible que dans un système par induction et, par conséquent, le débit d'air introduit sera plus faible.

Toutefois, il convient d'être prudent, car des facteurs liés au bâtiment, à sa qualité de construction, au type d'activité, peuvent avoir des conséquences conduisant à une sous-évaluation des besoins théoriques par rapport aux besoins réels.

La difficulté réside dans l'appréciation de

ces facteurs et leur prise en compte pour obtenir des paramètres de dimensionnement corrects.

Il faut admettre que toutes les méthodes de calcul de charges thermiques actuelles, qu'elles soient manuelles ou assistées par ordinateur, statiques ou dynamiques, ne sont pas directement adaptées à ces systèmes (méthodes AICVF, Ashrae...).

En effet, elles partent toutes du principe que la température à l'intérieur du local est homogène du sol au plafond, ce qu'une diffusion d'air par induction est sensée réaliser.

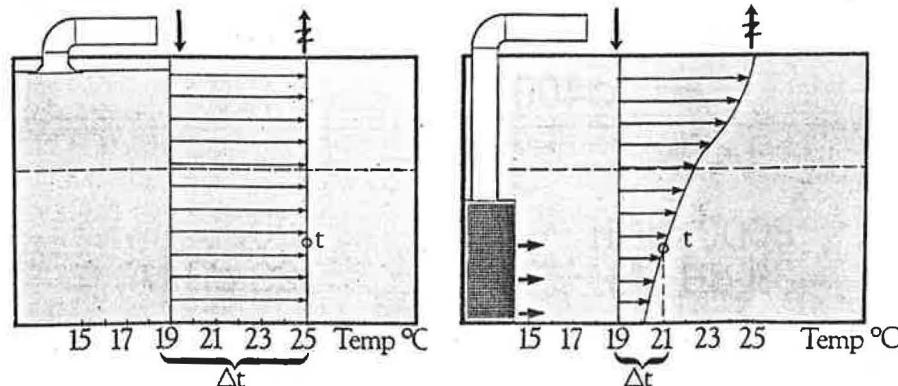
Or, il en est tout autre dans un local traité en déplacement, où les apports créent le gradient de température qui favorise le déplacement.

Les constructeurs ont donc développé des outils de dimensionnement et de sélection en fonction de leurs recherches et de leur expérience.

Ces outils, suivant les constructeurs, se présentent sous forme de méthodes manuelles avec diagrammes ou sous forme de logiciels mis à la disposition des professionnels.

La pratique de la diffusion par déplacement montre que les températures de soufflage ne doivent être inférieures aux températures ambiantes que de quelques degrés, pour maintenir le gradient de température dans la zone d'occupation dans les limites acceptables de bien-être (gradient de température : 1,5 à 3 °C/m maximum) ainsi que pour éviter de créer des sensations d'inconfort à proximité des diffuseurs (fig. 4).

Fig. 4. Profils comparatifs des températures entre une diffusion par système à mélange et par système à déplacement.



# Interview de M. GALICHET, chargé d'opération à la FNAC

par Jacques BENOIST

La FNAC, sous l'impulsion de son dynamique chargé d'opération M. Galichet, utilise depuis plusieurs années la technique de diffusion d'air dite par déplacement. De nombreux magasins déjà équipés témoignent de l'intérêt porté par ce maître d'ouvrage à ce système.

**J.B. — Pouvez-vous nous exposer les motivations qui ont conduit la FNAC au choix de ce système ?**

M.G. — Le système à déplacement est utilisé dans des cas précis, liés essentiellement aux contraintes du bâtiment.

Par exemple, le magasin FNAC Marseille est directement sous une toiture avec un fort rayonnement dû à l'ensolilement. Il n'était pas question d'adopter un système de diffusion à induction qui aurait surchargé inutilement la puissance frigorifique à produire.

On a donc adopté un système à déplacement pour garder la masse d'air chaud dans le haut sous la toiture, permettant de maintenir une température agréable jusqu'à 2,40 m du sol en négligeant ce qui se passe au-dessus.

Ce magasin est le cas typique où l'adoption d'un système de diffusion à déplacement procure la plus grande économie.

Le système centralisé de traitement de l'air insufflé est muni d'un dispositif économiseur dit « free-cooling » qui assure :

- en hiver, la reprise d'air chaud stratifié en partie supérieure afin de diminuer la quantité d'énergie nécessaire au chauffage,

Ce dispositif associé à la diffusion par déplacement répond à un double besoin :

- réaliser une économie d'exploitation en été en réduisant au minimum l'influence de la chaleur apportée par la toiture,

- utiliser, en hiver et en demi-saison, la masse d'air chaud stockée au plafond pour diminuer l'énergie nécessaire au réchauffage de l'air insufflé.

**J.B. — Pouvez-vous évoquer aussi le magasin de Strasbourg qui fut une des premières applications d'un système à déplacement ?**

Strasbourg est aussi un cas typique, mais je dois dire que l'utilisation d'un système à déplacement est un choix systématique de la FNAC quand cette méthode de diffusion résoud mieux les problèmes qu'un autre système.

Le magasin est situé sur 2 niveaux dans un bâtiment à usage de commerce qui en comporte 4, avec un atrium central. Lors de notre installation, ce bâtiment existant, il n'était pas question de créer de nouvelles trémies. Le désenfumage se réalisait en partie centrale au plafond de l'atrium avec deux extracteurs qu'il était exclu de modifier.

Nous avons donc adopté le principe de « déplacer » les fumées des zones de vente vers l'atrium, seul système qui permettait à la fois d'assurer la climatisation et de pousser les fumées en cas d'incendie hors de la zone d'occupation.

Prochainement, un nouveau magasin sera ouvert dans le centre commercial de Noisy-le-Grand où nous avons aussi adopté une diffusion par déplacement.

Le magasin se présente avec une hauteur sous plafond d'environ 6 m, directement sous une dalle.

Etant le payeur direct de l'énergie électrique pour assurer le chauffage, nous avons prévu un système de récupération de chaleur sur l'air extrait, avec batteries de récupération à eau glycolée.

Et encore nous utilisons les caractéristiques intrinsèques du système à déplacement qui l'été nous permet de minimiser l'influence des apports par la dalle, et l'hiver de récupérer la chaleur de l'éclairage et des occupants pour la transférer à l'air neuf, en réduisant d'autant l'énergie nécessaire au chauffage.

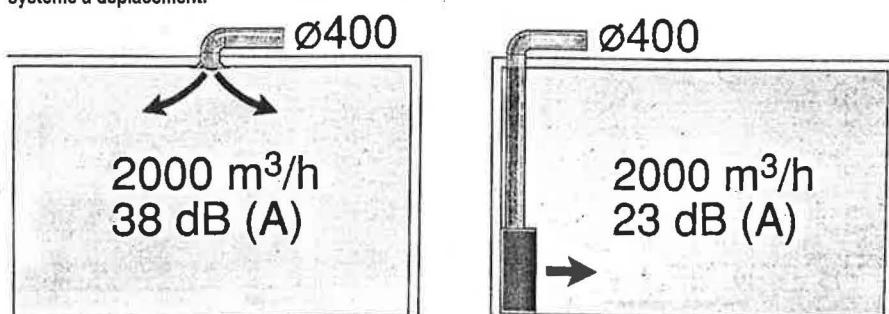
**J.B. — Avez-vous songé à utiliser la technique du déplacement pour des bureaux ?**

M.G. — En ce qui concerne l'application aux bureaux, nous avons effectivement des bureaux à Créteil équipés en système par déplacement.

Dans ce cas, nous ne pouvions installer ni conduits d'air, ni bouches en plafond, nous avons donc opté pour une diffusion par déplacement. Il en résulte que nous réussissons à faire cohabiter fumeurs et non-fumeurs dans le même espace.

Fait à PARIS le 25 septembre 1992

Fig. 5. Comparaison des caractéristiques acoustiques moyennes des diffuseurs en système à induction et en système à déplacement.



Dans les applications dites « de confort », la température de soufflage ne devra jamais être inférieure à 17 °C.

## Les valeurs de « diffusion »

D'une manière générale, compte tenu de la distribution de l'air en masse spécifique, les règles d'implantation des diffuseurs sont beaucoup plus souples qu'en système à induction, toutefois un certain nombre d'erreurs sont à éviter.

Il faut rechercher les emplacements possibles en fonction des impératifs du maître d'ouvrage liés au type d'activité, tout en respectant l'architecture générale. Etablir un dialogue qui doit s'achever par un compromis entre les possibilités d'implantations et les contraintes techniques permettant d'assurer les objectifs. Essayer d'implanter les diffuseurs près des circulations afin d'éviter d'être trop près des postes de travail (sauf cas particuliers dans l'industrie) et éloigner les diffuseurs les uns des autres.

En ce qui concerne leur nombre, il est conseillé de suivre cette règle : plus la zone d'occupation est dense en occupants, mobiliers, machines et obstacles de toute nature, plus le nombre de diffuseurs est augmenté.

La distance d'usage d'un diffuseur est la distance de la grille du diffuseur ou du mur sur lequel il est adossé, à partir de laquelle la vitesse résiduelle de l'air est inférieure ou égale à une vitesse déterminée fonction de l'activité des occupants (environ 0,2 m/s pour une personne assise).

A débit d'air égal, la géométrie du diffuseur a une influence sur sa distance d'usage.

Quant au niveau sonore, compte tenu des faibles vitesses de sortie d'air au diffuseur, le bruit propre engendré par ce type de diffuseur est en général très faible et permet de répondre à des caractéristiques acoustiques exigées par des locaux tels que studios d'enregistrement, salles de concert ou plateaux de TV (fig. 5).

Par contre, n'émettant que peu de bruit propre, ils ne procurent qu'un amortissement très faible sur le bruit en provenance du réseau de gaines, il convient donc de se méfier de toute régénération de bruit issue de coudes, ou de registres, ou de ventilateurs non traités acoustiquement.

## Les systèmes à déplacement et le chauffage

A partir du moment où l'air insufflé est à une température supérieure à la température ambiante, la diffusion en masse spécifique et le déplacement ne fonctionnent plus.

Cela ne signifie pas qu'il ne soit pas utile de le faire dans certaines circonstances. En effet, on peut insuffler de l'air chaud au travers des diffuseurs pour faire face à des besoins de chauffage, mais uniquement quand ceux-ci sont temporaires ou marginaux en regard des besoins de refroidissement. Les diffuseurs se comportent alors comme des « convecteurs ».

Les systèmes de diffusion sont compatibles avec tous les systèmes de chauffage statiques existants sur le marché.

## Points forts et points faibles

Les points forts de ces systèmes se révèlent par comparaison avec des systèmes utilisant le principe de l'induction.

D'une manière générale, les débits d'air nécessaires dans le cadre de locaux traités par systèmes à déplacement sont plus faibles que ceux nécessités dans le cas d'une distribution par induction.

Les systèmes à déplacement fonctionnent avec des températures de soufflage plus proches de la température ambiante que dans le cas des systèmes à induction (fig. 6). Cela a pour conséquences :

- de nécessiter des puissances frigorifiques installées plus faibles dans le cas du traitement tout air neuf de l'air (de 20 à 30 % selon les cas),
- de faire travailler les machines frigorifiques à un niveau thermique plus élevé donc de consommer moins d'énergie,
- de permettre de travailler en « free cooling » sur un laps de temps plus important donc d'être plus économique en exploitation,
- de susciter un regain d'intérêt pour les systèmes de rafraîchissement d'air n'utilisant pas de machines frigorifiques tels que le refroidissement par évaporation d'eau direct et indirect.

Du fait des faibles vitesses d'air en sortie de diffuseur (de 0,2 à 0,5 m/s), les risques de création de courants d'air gênants pour les occupants sont diminués d'autant, ceci en dehors de la zone de confort des diffuseurs.

A ce sujet, une notion relativement récente est apparue, elle concerne l'amplitude des variations des vitesses d'air dans la zone d'occupation. En effet, des essais ont démontré que même si la vitesse moyenne de l'air était inférieure aux valeurs dites de bien-être, l'amplitude des variations pouvait être une cause de gêne pour les occupants (fig. 7).

Dans le cas présent, l'amplitude des variations des vitesses d'air en diffusion par déplacement sont très faibles.

Corollaire du phénomène de tirage thermique des sources chaudes dans la zone d'occupation, les pollutions issues de ces sources sont emportées vers la zone supérieure et ne sont pas brassées dans l'ambiance comme avec les systèmes à induction (fig. 8).

En laissant volontairement de côté les locaux à pollution spécifique, et en ne prenant en compte que ceux où les seules sources de pollution sont liées à la présence de personnes, ces systèmes permettent dans tous les cas d'obtenir une qualité d'air dans la zone d'occupation supérieure aux systèmes à induction, à débit d'air et qualité de l'air insufflé identiques (fig. 9a et 9b).

Le débit d'air variable est parfaitement adaptable aux systèmes à déplacement, en effet la variation de débit n'entraîne aucun effet secondaire nuisible.

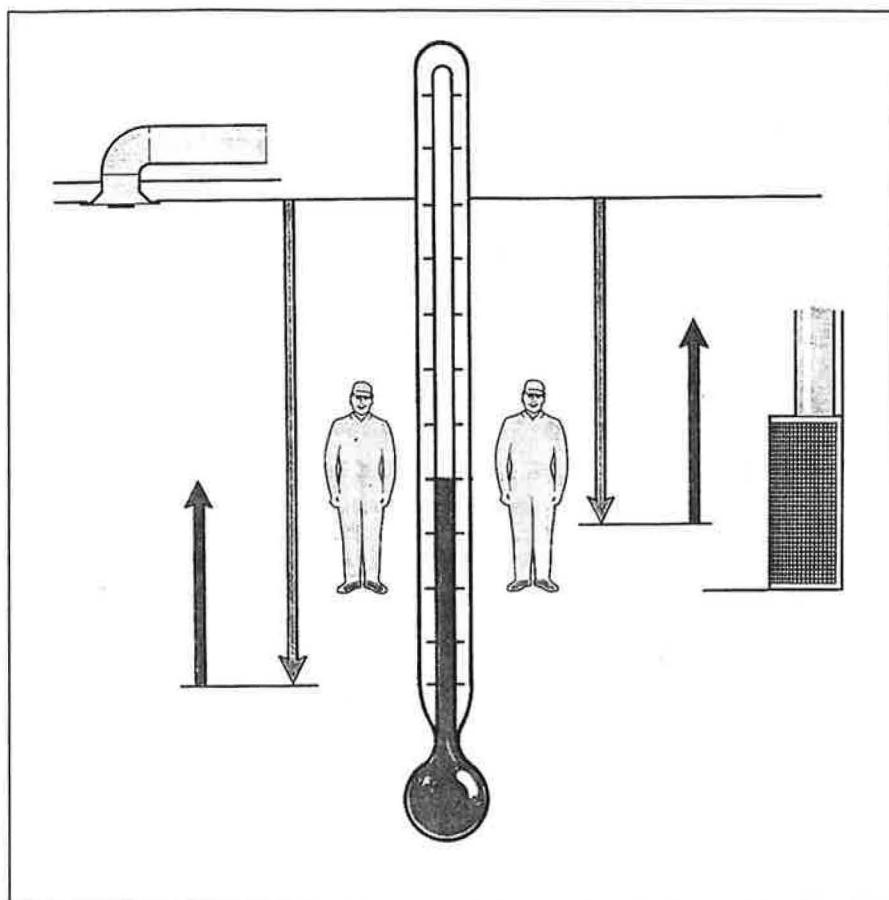


Fig. 6. Comparaison portant sur les niveaux de température requis entre une diffusion par système à induction et par système à déplacement.

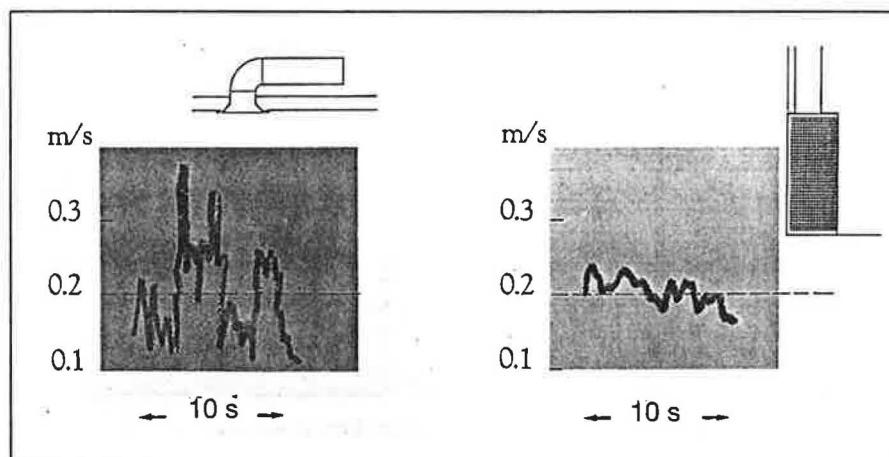


Fig. 7. Amplitude des variations des vitesses d'air en fonction du principe de distribution d'air.

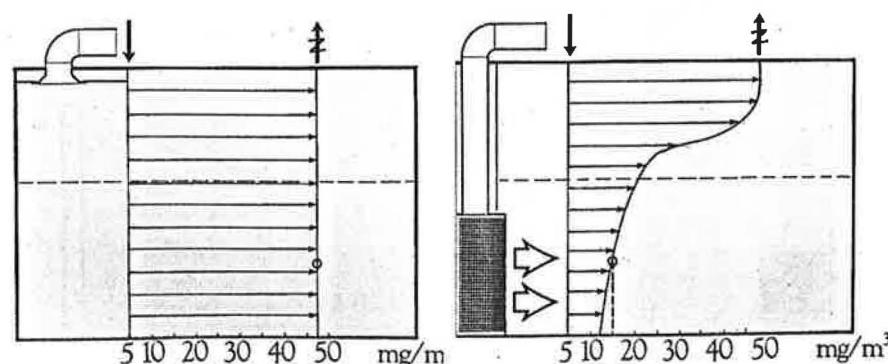


Fig. 8. Profils comparatifs de la concentration de pollution entre une diffusion par système à mélange et par système à déplacement.