

DIFFUSION DE L'AIR DANS LES SALLES DE TRI DES CENTRES DE TRAITEMENT DES ORDURES MÉNAGÈRES

Étude des caractéristiques aéroulques de quatre dispositifs d'introduction de l'air

Le guide de conception des centres de tri de traitement d'ordures ménagères édité par l'INRS préconise de placer un plénum de diffusion d'air au-dessus de chaque poste de travail. Pour des conditions de fonctionnement représentatives d'une salle de tri, les performances aéroulques de quatre plénums de diffusion de l'air sont évaluées à partir des champs d'intensité des vitesses mesurées dans deux plans : l'un en sortie du diffuseur, l'autre au niveau des voies respiratoires d'un éventuel opérateur. L'intensité moyenne spatiale de la vitesse, l'écart type relatif des intensités de vitesse et le rapport entre l'intensité moyenne de la vitesse et la vitesse débitante sont déduits des champs de vitesse obtenus. Des mesures complémentaires sont effectuées en conditions an-isothermes : un profil vertical de température est relevé sous l'axe central du diffuseur fonctionnant en mode chauffage. Pour des conditions thermiques homogènes, un dispositif constitué d'un simple caisson et d'une unique grille perforée (taux de perforation > 45 %) est insuffisant pour obtenir un écoulement correctement orienté. Des performances correctes sont obtenues avec deux grilles perforées (taux de perforation < 32 %) ou avec un caisson muni d'un filtre (perte de charge de 25 Pa). En période hivernale, les dispositifs testés suivent les lois générales donnant la pénétration d'un jet en fonction de la vitesse d'introduction et de la différence de température entre l'introduction et l'ambiance. Pour un débit de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et une surface de diffusion maximale de $0,8 \text{ m}^2$, les conditions optimales de fonctionnement ne peuvent être obtenues que pour un écart de température n'excédant pas 1 à $1,5^\circ\text{C}$.

Dans toute la ligne de tri d'un centre de traitement d'ordures ménagères (OM), le déplacement et la manipulation des déchets génèrent l'émission de poussières qui peuvent être à l'origine d'un risque chimique, voire biologique, lorsque ces poussières sont vecteurs de micro-organismes (levures, moisissures, germes pathogènes).

Le tri manuel représente la phase du procédé où les salariés sont les plus nombreux et les plus exposés.

Le guide de conception des centres de tri des OM préconise de placer un

plénum de diffusion d'air au-dessus de chaque poste de travail [1].

Ce dispositif permet de distribuer de l'air neuf non pollué au niveau des voies respiratoires des opérateurs, avant de diffuser dans toute la salle de tri [2].

Le débit préconisé est d'environ $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour un plénum de $1 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$ avec, comme objectif, de maintenir les conditions de confort thermique au poste de travail [3].

Des plénums adaptés à des situations particulières (salle blanche par exemple) sont disponibles dans les

- Traitement des déchets
- Ordures ménagère
- Tri
- Ventilation

► Roland RAPP, Francis HENRY,
Jean-Raymond FONTAINE
INRS, département Ingénierie des procédés

AIR DIFFUSION IN SORTING ROOMS AT DOMESTIC WASTE TREATMENT CENTRES - STUDY OF THE VENTILATION CHARACTERISTICS OF FOUR AIR INPUT SYSTEMS

The design guide for domestic waste sorting facilities, edited by INRS, recommends placing an air diffusion plenum above each workstation. For operating conditions representative of a sorting room, ventilation performance characteristics of four air diffusion plenums are evaluated from the intensity fields for air velocities measured in two planes: one at the diffuser outlet and the other at the respiratory tract of a possible operator. The average spatial velocity intensity, the relative standard deviation in velocity intensities and the ratio between the velocity average intensity and the output velocity are deduced from the velocity fields obtained. Additional measurements are taken in anisothermal conditions: a vertical temperature profile is plotted below the centreline of the diffuser operating in heating mode.

Under uniform thermal conditions, a system comprising a simple casing and single perforated grill (degree of perforation > 45%) is insufficient for generating a properly directed flow. Satisfactory performance characteristics are obtained with two grills (degree of perforation < 32%) or with a casing fitted with a filter (head loss of 25 Pa).

During winter periods, the tested systems obey general laws for jet penetration with respect to input velocity and temperature difference between input and surrounding air. For a flow of $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ and a maximum diffusion area of 0.8 m^2 , optimum operating conditions can only be achieved for a temperature difference less than 1 to 1.5°C .

- Waste treatment
- Domestic waste
- Sorting
- Ventilation

catalogues des fournisseurs de matériels aérauliques. En raison de leur coût souvent très élevé et de leur mise en œuvre contraignante (entretien, difficulté de fonctionnement en conditions thermiques mal contrôlées), ces dispositifs sont rarement proposés pour des applications industrielles courantes.

L'étude de quelques dispositifs particuliers a donc été entreprise afin d'évaluer leur performance du point de vue aéraulique pour les conditions de fonctionnement préconisées (débit et température). Des mesures complémentaires en conditions non isothermes ont également été effectuées afin d'approcher les limites d'utilisation de ces dispositifs lorsqu'ils fonctionnent en mode chauffage.

CRITÈRES D'ÉVALUATION RETENUS

L'objectif étant de maintenir l'opérateur dans un flux d'air non pollué tout en assurant des conditions optimales de confort, les mesures ont pour objet d'apprécier :

- l'homogénéité des vitesses de l'air en sortie du diffuseur et au niveau des voies respiratoires des opérateurs,
- l'absence de phénomènes de recirculation de l'air à l'introduction afin d'éviter une éventuelle contamination de l'air neuf avant qu'il ne parvienne au niveau de l'opérateur,
- l'orientation du flux d'air entrant qui doit être dirigé du diffuseur vers la zone d'évolution de l'opérateur.

PROTOCOLE ADOPTÉ

MESURES EN CONDITIONS ISOTHERMES

Pour les mesures en conditions isothermes, le montage expérimental adopté pour les essais est représentatif des conditions réelles d'installation des diffuseurs en salle de tri.

Le diffuseur est placé à une hauteur de 2,75 m de haut avec une surface débitante affleurant une zone plafond, l'en-

semble étant positionné dans un volume de grande dimension (cf. Figure 1).

Il est relié par un coude à section circulaire à un dispositif permettant d'assurer le débit de ventilation préconisé. Celui-ci est obtenu en agissant sur la vitesse de rotation d'un ventilateur débitant dans le conduit de diamètre 0,2 m. La mesure du débit est effectuée à l'aide d'un tube de Pitot correctement placé dans le conduit. La température de l'air introduit, directement prélevé dans le volume d'expérimentation, est donc à la même température que l'ambiance.

Dans un premier temps, l'utilisation d'un fumigène permet très simplement de visualiser les écoulements obtenus en sortie du diffuseur : le flux d'air recherché est descendant, c'est-à-dire dirigé du diffuseur vers les voies respiratoires d'un opérateur, en évitant au mieux les phénomènes d'entraînement et de re-circulations de l'air ambiant.

Des mesures de l'intensité de la vitesse à l'aide d'un anémomètre Dantec 54N50 sont ensuite effectuées dans deux plans : à la sortie du diffuseur, à 0,10 m sous le plafond (*plan I*) et à 1 m du diffuseur, donc au niveau des voies respiratoires d'un éventuel opérateur (*plan II*).

À titre indicatif, le maillage adopté pour l'étude d'un diffuseur est donné Figure 2.

Les champs de vitesse sont analysés à partir des paramètres suivants :

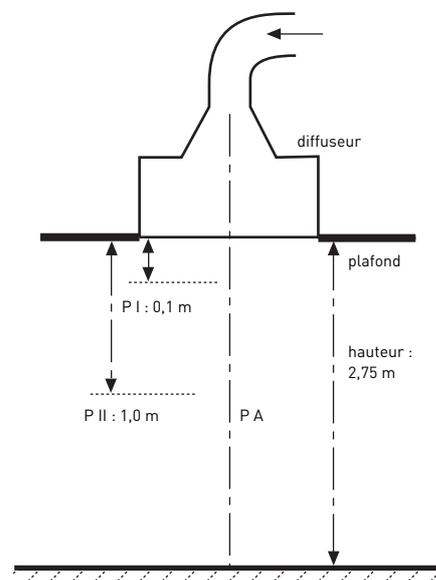
- V_{moy} : intensité moyenne de la vitesse. Elle est obtenue en calculant la moyenne spatiale des intensités de vitesse relevées dans le demi-plan, aux points de mesure directement sous le diffuseur ;
- σ/V_{moy} : écart type relatif des intensités de vitesse ;
- $V_{\text{moy}}/V_{\text{débit}}$: rapport entre l'intensité moyenne de la vitesse et la vitesse débitante ; celle-ci est déterminée par le débit de ventilation rapporté à la surface de soufflage du plénum.

Ces paramètres sont en lien direct avec les critères d'évaluation mentionnés plus haut :

- une valeur faible de l'écart type relatif révèle l'homogénéité du flux,
- une valeur proche de l'unité

FIGURE 1

Montage expérimental et plans des mesures
Experimental setup and measuring planes



pour le rapport $V_{\text{moy}}/V_{\text{débit}}$ témoigne de l'orthogonalité du flux par rapport au plénum.

MESURES EN CONDITIONS AN-ISOTHERMES

Les mesures avec différence de température entre l'introduction de l'air et l'ambiance s'effectuent dans une cellule d'essai à débit et température contrôlés (cf. figure 3). Cette cellule, de section $4,25 \times 4,95 \text{ m}^2$ et d'une hauteur utile de 5,6 m, est équipée d'un dispositif de ventilation assurant un flux d'air ascendant. L'introduction de l'air se fait uniquement sur les parties latérales du sol, la partie centrale étant rendue inopérante afin de ne pas perturber l'écoulement au niveau du diffuseur. La reprise s'effectue sur toute la surface du plafond en tôle perforée. Pour les essais, le système de ventilation fonctionne en boucle fermée, sous un débit de $2\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et une température d'introduction au sol régulée à $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Suivant les essais, la température de consigne s'échelonne dans une plage comprise entre 17 et 21°C .

Le diffuseur d'air est positionné dans cette cellule à une hauteur de 2,75 m. Le ventilateur, qui alimente le diffuseur testé au débit de ventilation préconisé de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, est placé à l'extérieur de la cellule. Il permet d'injecter

FIGURE 2

Exemple de maillage adopté pour les mesures d'intensité de la vitesse de l'air
 Example of grid used for air velocity intensity measurements

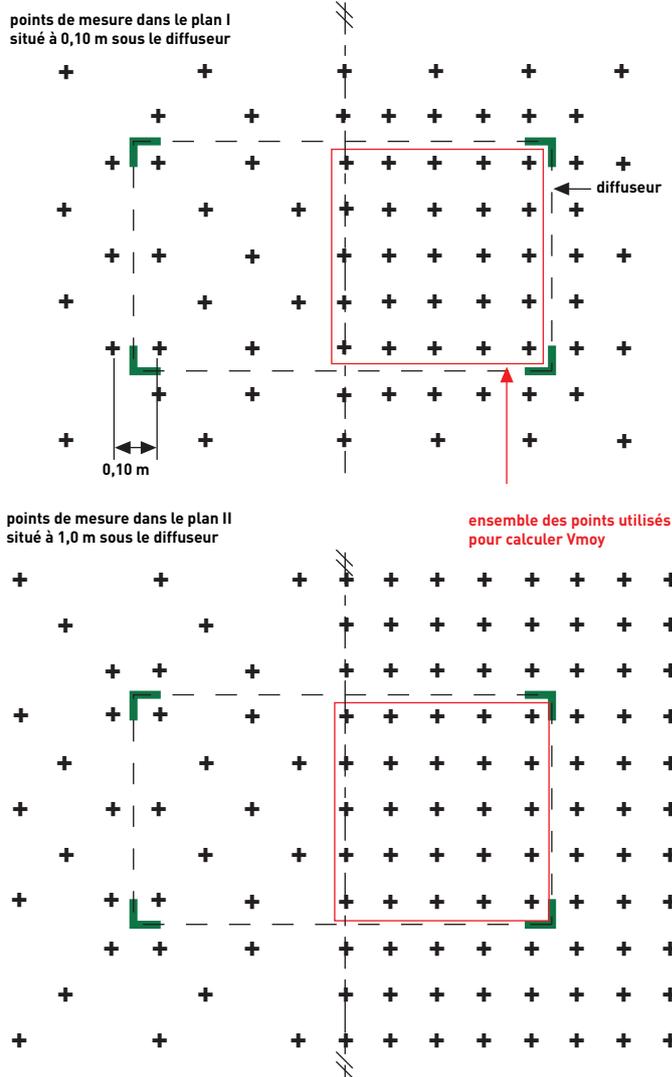
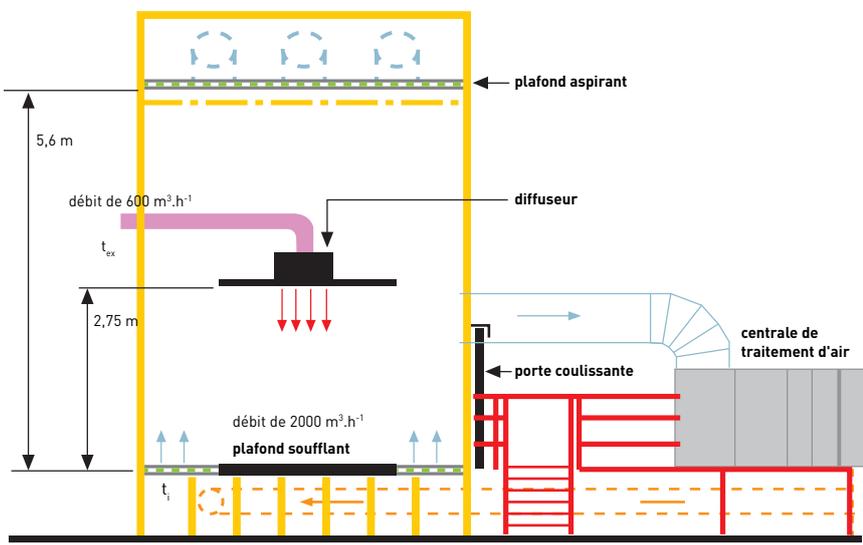


FIGURE 3

Schéma du banc d'essai pour les mesures en conditions an-isothermes
 Test bench layout for measurements under anisothermal conditions



de l'air à la température t_{ex} , température de l'air extérieur à la cellule d'essai, différente de celle obtenue à l'intérieur de la cabine par la régulation. Du fait de l'importance du hall dans lequel se trouve la cellule d'essai, cette température de soufflage t_{ex} est constante.

Le flux d'air est visualisé à l'aide de fumigène. Les mesures de température sont effectuées à l'aide de thermocouples T (cuivre constantan). Un profil vertical de température est relevé sous l'axe central du diffuseur (cf. Figure 1, plan PA) avec 7 points de mesures à 0,15 ; 0,75 ; 1,25 ; 1,75 ; 2,05 ; 2,35 et 2,65 m de haut (respectivement à 2,6 ; 2,0 ; 1,5 ; 1,0 ; 0,7 ; 0,3 et 0,1 m du diffuseur).

Le profil vertical de température permet de déterminer la pénétration du flux d'air qu'il est possible d'obtenir pour un diffuseur alimenté sous un débit de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et une différence de température déterminée (mode chauffage).

Il permet de préciser la limite d'utilisation du diffuseur en mode chauffage, limite pour laquelle le fonctionnement reste acceptable en assurant une alimentation correcte en air neuf des voies respiratoires des opérateurs.

DIFFUSEURS ÉTUDIÉS

Quatre diffuseurs, notés A à D, ont fait l'objet de tests en laboratoire. Il s'agit :

- d'un produit catalogue : dispositif classique de diffusion d'air constitué d'un caisson diffuseur plafonnier, de surface utile $1,24 \times 0,62 \text{ m}^2$, doté d'un filtre haute efficacité classé F7/F8 suivant EN779 [4] et d'une grille perforée à 45 % de vide ; la perte de charge du filtre est de 25 Pa pour un débit de $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, celle de la grille est inférieure à 10 Pa pour une vitesse débitante de $0,45$ à $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

- d'une adaptation d'un produit catalogue, proposée par un fournisseur et constituée d'un assemblage de deux diffuseurs de soufflage plafonnier à tôle perforée à 56 % de vide avec leurs plenums de raccordement circulaire. La surface utile de ce dispositif est de $1,14 \times 0,54 \text{ m}^2$. La perte de charge donnée par le constructeur est de 1,2 Pa pour un débit de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;

■ d'une réalisation spéciale conçue à partir d'un système breveté ayant pour caractéristique de diffuser un flux d'air unidirectionnel bordé par une accélération de l'air pour empêcher les retours de l'air ambiant vers la zone de diffusion. Le flux laminaire est ainsi protégé et stabilisé par une barrière de confinement (système BC). Ceci est obtenu par un profilé particulier des grilles de soufflage, des perforations judicieusement adaptées (vide de 30 % pour la première grille et de 21 % pour la seconde) et les parois prolongées du diffuseur qui jouent le rôle de déflecteurs. La surface débitante est de $0,90 \times 0,50 \text{ m}^2$. Le concepteur annonce une perte de charge du diffuseur BC seul inférieure à 20 Pa pour des vitesses standards de flux unidirectionnel ;

■ d'un prototype réalisé à l'INRS constitué d'un caisson, plénum de diffusion avec deux grilles tôles perforées à 32 % de vide. La surface débitante est de $1,16 \times 0,56 \text{ m}^2$. La perte de charge calculée pour ce dispositif est d'environ 10 Pa sous un débit de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ [5].

MESURES EN CONDITIONS ISOTHERMES

RÉSULTATS

Diffuseur A

Pour des conditions de températures homogènes (conditions isothermes), le débit de ventilation étant réglé à $605 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, soit une vitesse débitante au diffuseur de $0,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, l'intensité de la vitesse a été mesurée dans les deux plans prédéfinis. Les résultats sont donnés à la Figure 4.

Pour le plan situé à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur, la vitesse moyenne en sortie du diffuseur est de $0,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ avec un écart type de $0,04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (valeur établie à partir des mesures du demi-plan). Le champ de vitesse obtenu est homogène avec une vitesse moyenne équivalente à la vitesse débitante et un écart type relatif inférieur à 20 %.

Pour le plan situé à 1 m sous le diffuseur, au niveau des voies respiratoires, la vitesse moyenne est déterminée à partir des points de mesure directement sous le diffuseur. Cette vitesse est de

FIGURE 4

Diffuseur A. Mesure de l'intensité de la vitesse dans le plan PI à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur et dans le plan PII à 1 m sous le diffuseur

Diffuser A. Velocity intensity measurement in plane PI, $0,10 \text{ m}$ below diffuser, and in plane PII, 1 m below diffuser

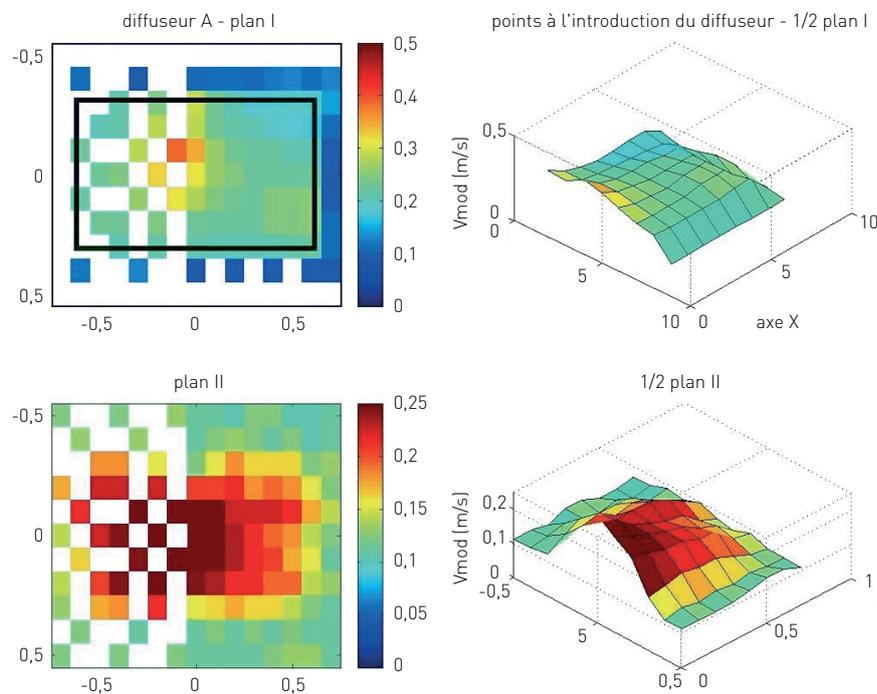
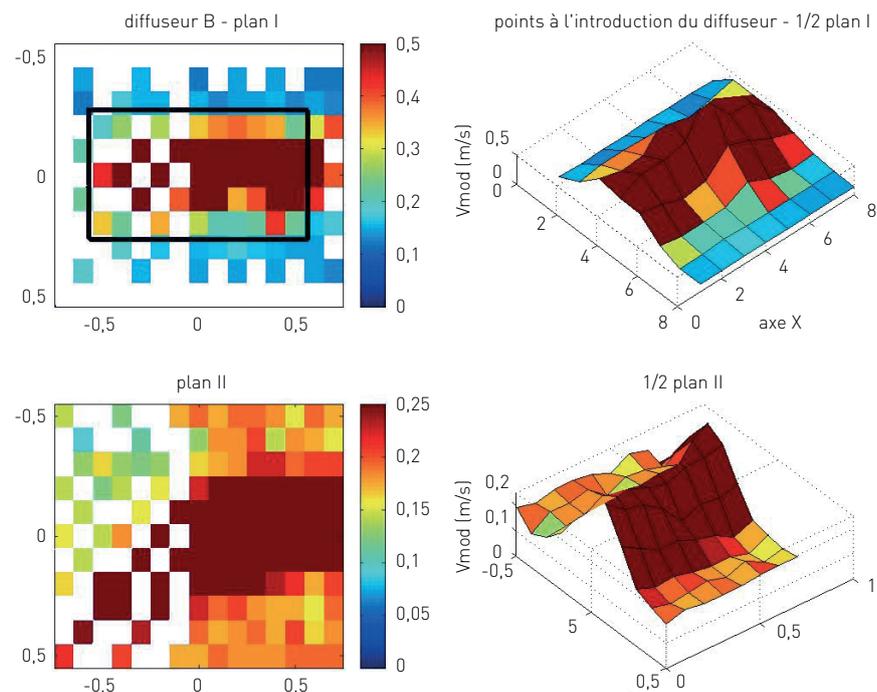


FIGURE 5

Diffuseur B. Mesure de l'intensité de la vitesse dans le plan PI à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur et dans le plan PII à 1 m sous le diffuseur

Diffuser B. Velocity intensity measurement in plane PI, $0,10 \text{ m}$ below diffuser, and in plane PII, 1 m below diffuser



$0,20 \text{ m.s}^{-1}$ avec un écart type relatif voisin de 25 %. Les vitesses maximales sont relevées dans l'axe central du diffuseur, face à l'orifice d'introduction de l'air.

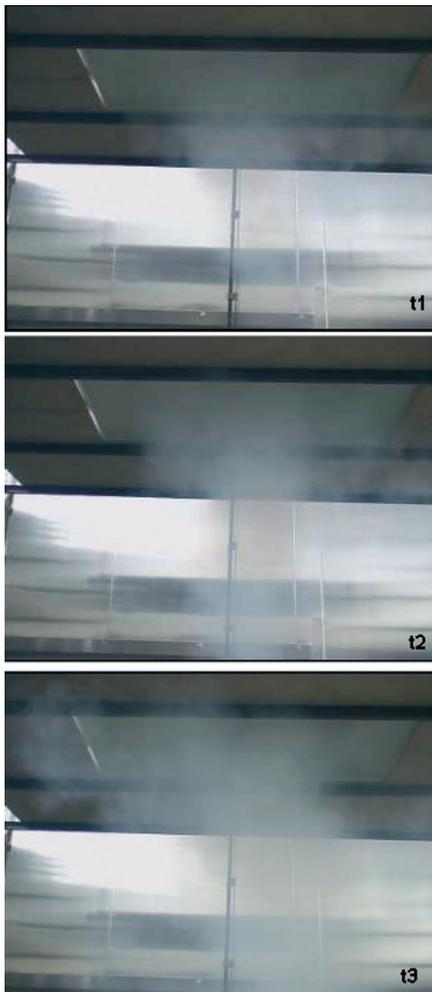
Pour ce diffuseur, compte tenu de sa surface, un débit de $600 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ est insuffisant pour obtenir un niveau correct de l'intensité de la vitesse au niveau des voies respiratoires.

Une seconde série de mesures a été effectuée avec un débit de ventilation de l'ordre de $1\ 100 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ (vitesse débitante de $0,40 \text{ m.s}^{-1}$).

À $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur, la vitesse moyenne relevée est de $0,35 \text{ m.s}^{-1}$ avec un écart type relatif de 23 %.

FIGURE 6

Diffuseur B. Visualisation des écoulements au fumigène
Diffuser B. Airflows displayed by smoke stream



Diffuseur B

Au niveau des voies respiratoires, on obtient une vitesse moyenne de $0,29 \text{ m.s}^{-1}$ avec un écart type relatif de 21 %.

Diffuseur B

Le diffuseur étant doté de deux introductions, un réglage préliminaire a permis de répartir correctement le débit de ventilation sur chacune des entrées. Le débit global mesuré à l'aide du tube de Pitot est dans la fourchette 600 à $605 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ suivant les mesures.

Les résultats sont donnés à la Figure 5.

Pour le plan situé à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur, l'intensité moyenne de la vitesse dans le demi-plan I est de $0,55 \text{ m.s}^{-1}$ avec un écart type relatif proche de 60 %.

À l'introduction, les vitesses localement importantes assurent un entraînement du flux d'air ambiant.

Ceci est confirmé par la visualisation des écoulements à l'aide d'un fumigène qui montre que ce dispositif assure un mélange de l'air ambiant et

de l'air neuf (cf. Figure 6), ce qui est contraire à l'objectif visé. Ceci est également confirmé par le relevé des vitesses de l'air en périphérie immédiate du diffuseur, avec des valeurs mesurées pouvant atteindre $0,75 \text{ m.s}^{-1}$.

Dans le plan situé au niveau des voies respiratoires, la vitesse moyenne est de $0,33 \text{ m.s}^{-1}$, mais avec des écarts importants suivant le point considéré puisque, sous le diffuseur, l'écart type relatif est d'environ 30 %. L'air issu du diffuseur n'est pas correctement orienté, avec une déviation du jet vers un côté du diffuseur, observable par le fumigène, mais également décelable par les mesures dans le plan à 1 m sous le diffuseur. Les vitesses maximales sont décalées par rapport aux axes de symétrie du diffuseur.

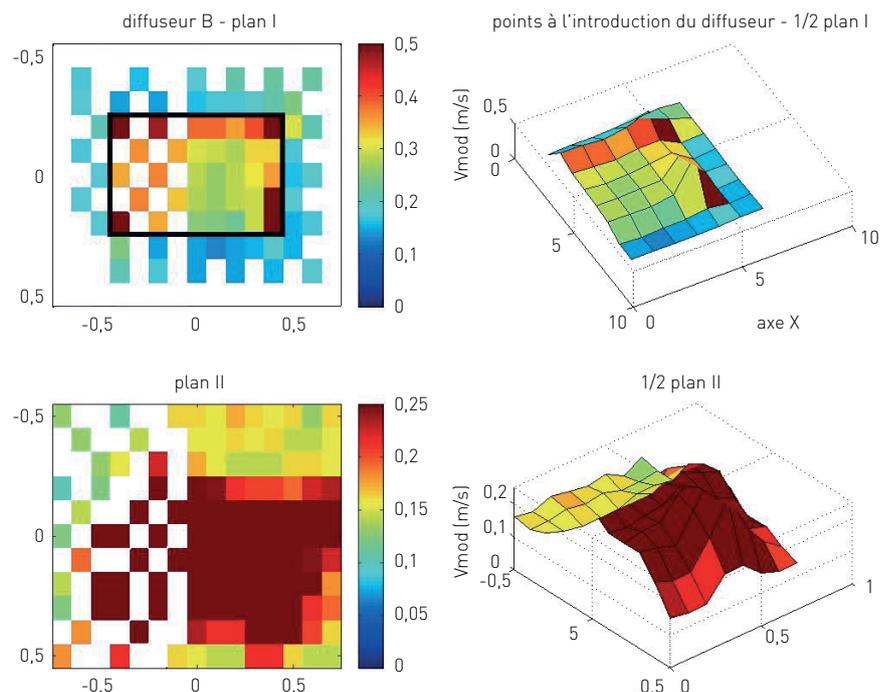
Diffuseur C

L'intensité de la vitesse mesurée pour les deux plans prédéfinis est présentée Figure 7.

Pour un débit de ventilation de $600 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, la vitesse moyenne à $0,10 \text{ m}$

FIGURE 7

Diffuseur C. Mesure de l'intensité de la vitesse dans le plan PI à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur et dans le plan PII à 1 m sous le diffuseur
Diffuser C. Velocity intensity measurement in plane PI, $0,10 \text{ m}$ below diffuser, and in plane PII, 1 m below diffuser



sous le diffuseur est de $0,34 \text{ m.s}^{-1}$, valeur équivalente à la vitesse débitante. Par construction, le champ obtenu n'est pas homogène, avec pour la valeur moyenne un écart type relatif de 35 %. En périphérie extérieure du diffuseur, les vitesses mesurées restent inférieures à $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ alors que les vitesses maximales, de l'ordre de $0,5$ à $0,75 \text{ m.s}^{-1}$, se situent plutôt en périphérie interne du diffuseur.

Dans le plan à 1 m sous le diffuseur, la vitesse moyenne est de $0,31 \text{ m.s}^{-1}$ avec un écart type relatif de 17 %. Le champ obtenu est donc relativement homogène. Même s'il existe un léger décalage de la zone balayée par le diffuseur, la barrière créée par le jet d'introduction est conservée, avec un seuil très net entre les points externes et les points à l'intérieur de cette zone (visualisation au fumigène sur la *Figure 8*).

FIGURE 8

Diffuseur C. Visualisation des écoulements au fumigène
Diffuser C. Airflows displayed by smoke stream



Diffuseur C

Diffuseur D

Les résultats obtenus sont donnés sur la *Figure 9*.

Pour un débit de ventilation de $600 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, la vitesse moyenne dans le plan à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur est de $0,33 \text{ m.s}^{-1}$ (écart type relatif de 25 %).

Au niveau des voies respiratoires, la plupart des valeurs sont inférieures à $0,15 \text{ m.s}^{-1}$ (écart type relatif inférieur à 20 %).

Ces résultats sont confirmés par la visualisation au fumigène sur la *Figure 10*.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Le *Tableau 1* récapitule les résultats relevés dans les plans à $0,10 \text{ m}$ et 1 m des différents diffuseurs alimentés sous un débit théorique de $600 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ et de $1100 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ pour le diffuseur A.

Le diffuseur B, uniquement composé d'un caisson et d'une grille unique

de répartition, ne permet pas d'obtenir un écoulement conforme à l'attendu. Les vitesses peuvent être localement très importantes (des valeurs supérieures à 1 m.s^{-1} ont été relevées à l'introduction, proches de $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ en périphérie immédiate du diffuseur ou proche de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ sous le diffuseur au niveau des voies respiratoires). Ces vitesses excessives à l'introduction favorisent le mélange de l'air introduit avec l'ambiance. Dans le plan au niveau des voies respiratoires, la stabilité de l'écoulement n'est pas réalisée avec un écart type relatif voisin de 30 %. De plus, avec une vitesse maximale proche de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$, les conditions optimales de confort ne sont pas réalisables. Les visualisations, effectuées à l'aide d'un fumigène, montrent également que le jet d'air n'est pas correctement orienté vers le bas. Cette même constatation a été faite avec le diffuseur A sans filtre.

Le diffuseur D, constitué d'un simple caisson avec deux grilles de répartition, permet d'obtenir un flux d'air globalement bien orienté vers le bas, mais l'uniformité des vitesses n'est pas acquise avec, en introduction, un écart

FIGURE 9

Diffuseur D. Mesure de l'intensité de la vitesse dans le plan PI à $0,10 \text{ m}$ sous le diffuseur et dans le plan PII à 1 m sous le diffuseur
Diffuser D. Velocity intensity measurement in plane PI, 0.10 m below diffuser, and in plane PII, 1 m below diffuser

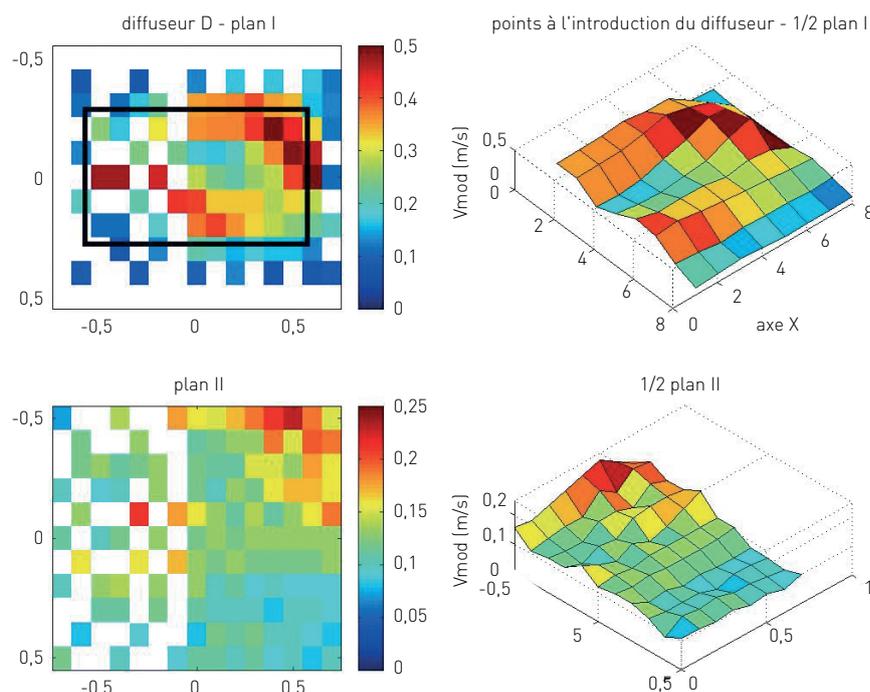


FIGURE 10

Diffuseur D. Visualisation des écoulements au fumigène
Diffuser D. Airflows displayed by smoke stream



Diffuseur D

type relatif de 25 %. Le rapport, entre la vitesse moyenne mesurée en sortie de diffuseur et la vitesse débitante est de 1,3, valeur nettement inférieure à celle obtenue pour le diffuseur B. Cependant, les vitesses localement élevées en périphérie externe du diffuseur montrent que ce système reste perfectible, même si globalement l'homogénéité est obtenue au niveau des voies respiratoires avec un écart type relatif inférieur à 20 %.

Les deux autres diffuseurs présentent des résultats satisfaisants. Le rapport entre les vitesses moyennes et les vitesses débitantes est proche de l'unité, respectivement 0,9 (diffuseur C) et 1,0 (diffuseur A). Les vitesses en périphérie extérieure du diffuseur restent faibles : inférieures à 0,15 m.s⁻¹ pour le diffuseur A et inférieures à 0,3 m.s⁻¹ pour le

TABLEAU I

Mesures dans les plans à 0,10 m et 1 m sous les diffuseurs
Measurements in planes 0.10 m and 1 m below diffusers

Diffuseur	Surface m ²	Vitesse débitante m.s ⁻¹	Plan à 0,10 m du diffuseur			Plan à 1 m du diffuseur	
			V _{moy} m.s ⁻¹	σ/V _{moy} %	V _{moy} V _{débitante}	V _{moy} m.s ⁻¹	σ/V _{moy} %
A	0,77	0,22	0,23	17 %	1,05	0,20	24 %
			0,40	23 %	0,88	0,28	21 %
B	0,62	0,27	0,55	57 %	2,01	0,33	29 %
C	0,45	0,37	0,34	35 %	0,92	0,31	17 %
D	0,65	0,26	0,33	25 %	1,29	< 0,15	19 %

diffuseur C malgré des vitesses élevées en périphérie interne.

Enfin, pour ces deux diffuseurs, la vitesse moyenne au niveau des voies respiratoires est sensiblement identique à celles relevées à l'introduction (respectivement 0,20 et 0,23 m.s⁻¹ pour le diffuseur A, 0,31 et 0,34 m.s⁻¹ pour le diffuseur C). Avec un écart type relatif inférieur à 20 %, le diffuseur C permet d'obtenir une répartition homogène des vitesses au niveau des voies respiratoires.

De ces mesures, il ressort que :

- un dispositif, constitué d'un simple caisson et d'une unique grille perforée (taux de perforation 45 % ou 56 %), est insuffisant pour obtenir un écoulement correctement orienté ;

- une amélioration très nette est obtenue par un caisson et deux grilles perforées (taux de perforation 32 % chacune), mais les vitesses obtenues à l'introduction ne sont pas suffisamment homogènes ;

- une bonne maîtrise des conditions de ventilation est obtenue par utilisation soit du dispositif créant une barrière d'isolement (dispositif à deux grilles perforées profilées, avec un taux de perforation de 30 % pour l'une et 21 % pour l'autre) soit d'un caisson avec filtre.

Cependant, pour ce dernier dispositif, les mesures effectuées pour un débit de ventilation plus important (1 100 m³.h⁻¹, vitesse moyenne de 0,35 m.s⁻¹) révèlent une certaine dégradation de son comportement. Si le flux d'air reste correctement orienté du haut vers le bas, les vitesses relevées au niveau des voies respiratoires sont localement élevées (vitesse maximale de

0,64 m.s⁻¹ pouvant entraîner une sensation d'inconfort pour le personnel).

MESURES EN CONDITIONS AN-ISOTHERMES

Les mesures en conditions an-isothermes ont essentiellement été menées sur les diffuseurs C et D. Quelques mesures ont également permis d'apprécier le comportement du diffuseur B en condition thermique non uniforme.

RÉSULTATS

Diffuseur B

Les profils de température mesurée sur l'axe vertical, centré sous le diffuseur, obtenus pour différents écarts de température entre l'ambiance et l'introduction, sont présentés *Figure 11*. Ces profils sont obtenus avec un débit de soufflage au diffuseur de 600 m³.h⁻¹ et un débit de renouvellement d'air dans la cellule de 2 000 m³.h⁻¹.

Pour un écart de température soufflage/ambiance inférieur à 0,5°C, la température mesurée sous le diffuseur est constante quelle que soit la hauteur considérée.

Pour un écart de température de l'ordre de 1°C, la décroissance de température est uniforme.

Lorsque l'écart de température soufflage/ambiance augmente, la température sous le diffuseur décroît tout

FIGURE 11

Diffuseur B. Profils de températures sous le diffuseur exprimées en différence de température par rapport à celle du soufflage

Diffuser B. Temperature profiles below diffuser expressed as temperature difference with respect to blowing temperature

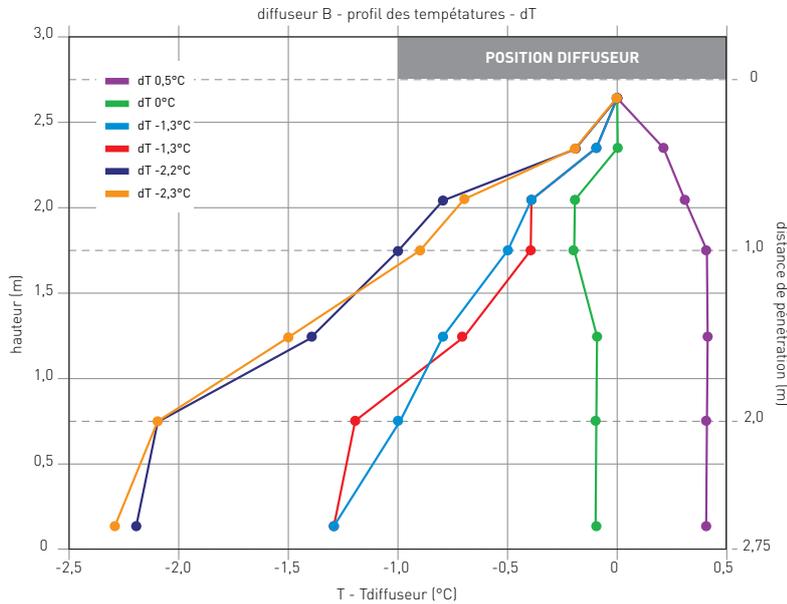
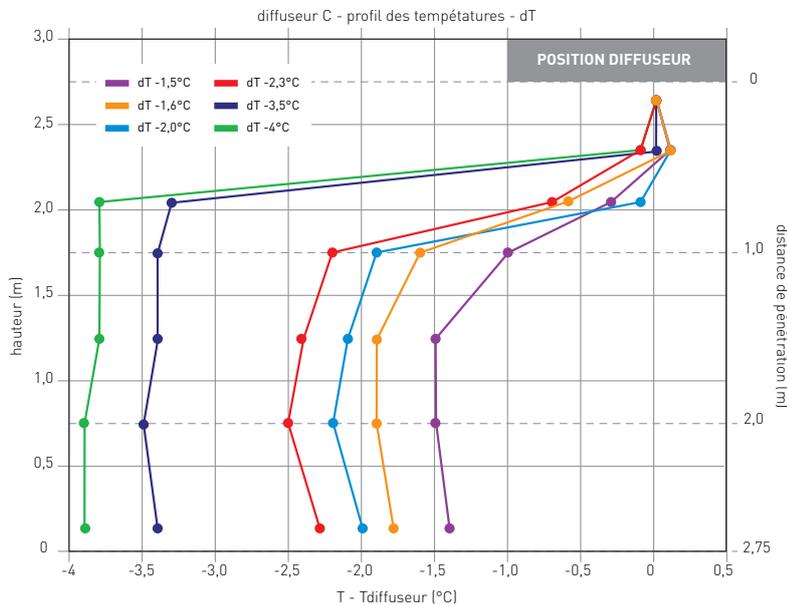


FIGURE 12

Diffuseur C. Profils de températures sous le diffuseur exprimées en différence de température par rapport à celle du soufflage

Diffuser C. Temperature profiles below diffuser expressed as temperature difference with respect to blowing temperature



d'abord linéairement, puis elle est constante et égale à la température d'ambiance. La hauteur correspondant à ce palier est fonction de l'écart de température. Dans ces conditions d'essais, le palier se situe à une hauteur d'environ 0,75 m pour un écart de température de l'ordre de 2 à 2,5°C (distance de pénétration de 2 m).

Diffuseur C

Les courbes d'évolution des températures en fonction de la hauteur et pour différents écarts de température entre le soufflage et l'ambiance sont données à la Figure 12.

Pour un écart de température supérieur à 3°C entre soufflage et ambiance, le débit de 600 m³.h⁻¹ est insuffisant pour vaincre les forces d'Archimède. La température sous le diffuseur reste constante et égale à celle de l'ambiance jusqu'à une hauteur de 2 m (0,75 m sous le diffuseur). L'accroissement de température en fonction de la hauteur s'opère à partir de ce palier pour atteindre très rapidement la température de soufflage.

Le palier est ramené à 1,75 m pour un écart de 2 à 2,5°C. Il est de 1,25 m pour une différence de température de 1,5°C.

La mesure des températures sur un profil vertical en bordure du diffuseur permet de confirmer ces différentes valeurs, avec des paliers du même ordre de grandeur que ceux obtenus à partir des profils relevés au centre du diffuseur.

DIFFUSEUR D

Les courbes d'évolution des températures en fonction de la hauteur et pour différents écarts de température entre le soufflage et l'ambiance sont données à la Figure 13.

Ces courbes donnent une décroissance linéaire pour un écart de température inférieur à 0,5°C, puis des paliers à hauteur croissante en fonction de l'augmentation de l'écart de température entre l'ambiance et l'introduction. Ce palier est de 0,75 m à 1 m pour une différence de température de l'ordre de 1 à 1,5°C. Il passe à 1,25 m pour une différence de 2°C et à 1,5 m pour une différence de 2,5°C.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Pour un jet 3D avec forces d'Archimède défavorables, P. Vialle a défini une loi de pénétration du jet déterminée à partir des mesures de températures [6] :

$$D_{pT} = 1,495 A^{1/2} A_r^{-0,5216}$$

Avec :

D_{pT} : distance de pénétration déterminée à la température T ;

A : surface du diffuseur ;

A_r : nombre d'Archimède déterminé suivant la relation $A_r = g.A^{1/2}.\Delta T/T.U^2$ dans laquelle ΔT représente l'écart de température entre l'introduction de l'air

FIGURE 13

Diffuseur D. Profils de températures sous le diffuseur exprimées en différence de température par rapport à celle du soufflage

Diffuser D. Temperature profiles below diffuser expressed as temperature difference with respect to blowing temperature

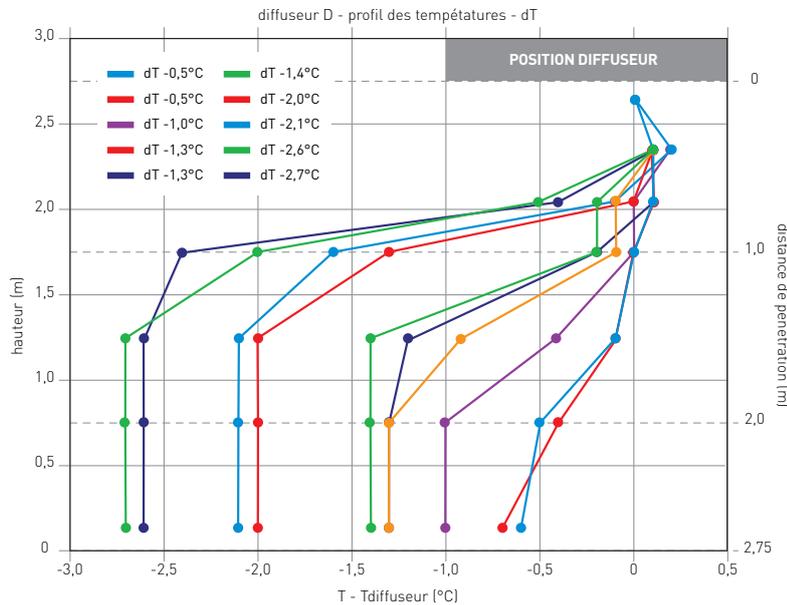


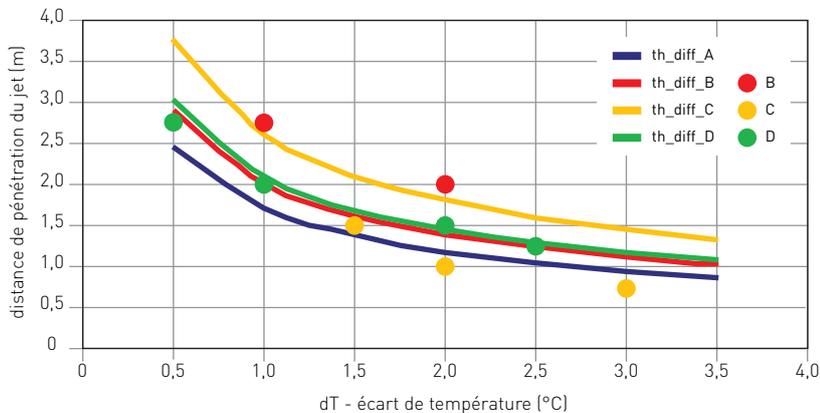
FIGURE 14

Pénétration = $f(dT)$; cas du chauffage; débit de $600\text{m}^3/\text{h}^{-1}$

dT = différence de température entre le soufflage et l'ambiance

Penetration = $f(dT)$; heating case; $600\text{m}^3/\text{h}^{-1}$ flow

dT = difference between blowing and ambient temperatures



Courbes d'après loi expérimentale de Vialle et points expérimentaux obtenus pour 3 diffuseurs.

et l'ambiance, et U la vitesse de l'air à l'introduction.

La Figure 14 représente, pour les diffuseurs testés, les courbes calculées suivant la loi expérimentale proposée par Vialle, donnant la distance de pénétration en fonction de l'écart de température entre l'introduction et l'ambiance. Ces courbes sont déterminées compte tenu des caractéristiques dimensionnelles des diffuseurs et de la vitesse

moyenne à l'introduction calculée à partir du débit de $600\text{m}^3/\text{h}^{-1}$.

Les points expérimentaux obtenus pour les trois diffuseurs à partir des mesures effectuées en cellule d'essai des panaches thermiques sont également reportés sur cette figure. Ces points sont déduits des profils de températures relevées dans le plan vertical axial sous le diffuseur.

Les écarts obtenus entre les courbes et les valeurs expérimentales peuvent s'expliquer par les différences entre la valeur moyenne de la vitesse de l'air à l'introduction et la vitesse réelle au centre du diffuseur. Pour le diffuseur B, les vitesses maximales sont davantage au centre du diffuseur; pour le diffuseur C elles se situent par construction en périphérie.

Pour une différence de température de 3°C entre le soufflage et l'ambiance, la distance de pénétration est de l'ordre de 1 m. En situation industrielle et dans ces conditions thermiques, un diffuseur placé à 1 m au-dessus d'un opérateur ne parviendrait pas à assurer une protection efficace de l'opérateur, l'air neuf ne parvenant pas au niveau des voies respiratoires.

Il ne faudrait pas dépasser un écart de $1,5^\circ\text{C}$ pour assurer une protection efficace de l'opérateur avec, pour ces conditions, une distance de pénétration supérieure à 1,5 m, valeur suffisante pour un diffuseur placé à une hauteur de 2,5 à 2,75 m au maximum.

Enfin, des conditions optimales de confort - notamment absence de gradient vertical de température, source d'inconfort local - ne pourront être obtenues que pour des écarts de températures inférieurs à 1°C avec, pour les conditions de fonctionnement spécifiées, une distance de pénétration supérieure à 2 m.

CONCLUSIONS

Le guide de conception des centres de tri des ordures ménagères (OM) préconise l'utilisation d'un plénum de diffusion d'air au-dessus de chaque poste de trieur.

L'étude menée à l'INRS sur la qualité de l'air dans les salles de tri de traitement des ordures ménagères vise à montrer la pertinence de cette préconisation à partir d'une évaluation sur sites des performances des dispositifs de ventilation réalisés par la mesure des concentrations en poussières et d'indicateurs biologiques de qualité de l'air, avant et après installation de diffuseurs aux postes de travail.

Le diffuseur d'air constitue un élément essentiel pour l'obtention d'un écoulement conforme à l'attendu.

Après consultation de fournisseurs, quatre dispositifs différents ont été testés en laboratoire afin d'en faire une présélection avant installation sur site.

Pour des conditions thermiques homogènes, un dispositif, constitué d'un simple caisson et d'une unique grille perforée (taux de perforation > 45 %), est insuffisant pour obtenir un écoulement correctement orienté. Les tests menés sur un caisson muni de deux grilles perforées (taux de perforation de 32 %) montrent une nette amélioration des performances et constituent donc une base pour le développement d'un diffuseur.

En période hivernale, les dispositifs testés suivent les lois générales donnant la pénétration d'un jet en fonction de la vitesse d'introduction et de la différence de température entre l'introduction et l'ambiance. Pour un débit de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et une surface de diffusion maximale de $0,8 \text{ m}^2$, les conditions optimales de fonctionnement ne peuvent être obtenues que pour un écart de température n'excédant pas 1 à $1,5^\circ\text{C}$.

Des performances correctes sont obtenues avec un caisson muni d'un filtre. Mais la perte de charge et l'entretien du dispositif ne permettent pas de recommander ce dispositif pour l'équipement des salles de tri des OM. À performances équivalentes, le dispositif à barrière d'isolement a donc été préféré et finalement retenu pour les tests en situation réelle.

Dans l'immédiat, une installation existante a été modifiée et des postes de trieurs équipés du diffuseur retenu.

Les mesures permettant de valider ces dispositifs ont été réalisées et sont en cours de dépouillement et d'exploitation.

Il conviendra de répertorier les situations de travail où la même technique de ventilation des postes pourrait être utilisée puis d'associer des constructeurs afin de favoriser la mise au point de plenums soufflants performants et de mieux répondre aux besoins de prévention.

Reçu le : 20/11/2007

Accepté le : 26/11/2007

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Conception des centres de tri des déchets - Déchets ménagers et assimilés issus de la collecte sélective*. INRS, ED 914, 2003.

[2] *Éco-Emballages - Concevoir, construire et exploiter un centre de tri*. Brochure, Levallois-Perret, 2005.

[3] NF ISO 7730 – *Ambiances thermiques modérées - Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique*. AFNOR, 1994, 34 p.

[4] NF EN 779. – *Filtres à air de ventilation générale pour l'élimination des particules. - Détermination des performances de filtration*. AFNOR, 2003, 69 p.

[5] I.E. IDEL'CIK – *Memento des pertes de charges - coefficients de pertes de charges singulières et des pertes de charge par frottement*. Traduit du russe par M^{me} M. Meury, Éditions Eyrolles, 1986, 494 p.

[6] P. VIALLE – *Étude expérimentale de jets verticaux tridimensionnels en présence de forces de gravité*. Thèse. École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique et Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, Université de Poitiers, 13 décembre 1996, 175 p.