

## ETUDE DE CONCEPTION D'UNE HOTTE A FLUX LAMINAIRE

M. Nial\* & L. Loukarfi

Faculté des sciences et science de l'ingénieur, Département de mécanique

Université H.B.B de Chlef, Algérie

[Nia\\_zak@hotmail.fr](mailto:Nia_zak@hotmail.fr)

**RESUME:** Lorsque odeurs et poussières présentent des inconvénients, une certaine amélioration pourra être apportée par accroissement du nombre de renouvellement d'air. Il est dans certains cas inopérant lorsqu'il s'agit de poussières; la meilleure solution consiste à prévoir des systèmes décentralisés tels que hottes à flux laminaire qui permette de chasser de manière efficace l'air vicié. L'étude de conception d'une hotte à flux laminaire a pour objectif d'établir les moyens favorisant un milieu de travail sain, dont ont besoin les cultures agronomiques et qu'exigent les milieux biologiques. L'objet de ce travail consiste à étudier un système de diffusion adéquat autre que celui utilisant un filtre dynamique; ce dernier rend le prix de revient de l'appareil très cher vu la grande surface utilisée. Le système dit à dilution contrôlée utilisé dans les salles d'opération, résulte d'un principe de diffusion par substitution obtenue par le biais d'une plaque perforée.

Les classes du standard américain, ont permis d'avoir les caractéristiques du flux laminaire ainsi que le système à dilution contrôlée. Le choix des conditions de départ à l'aval de la plaque perforée; telles que la vitesse d'écoulement, la température et le taux de renouvellement de l'air associées aux normes standard de l'écoulement laminaire, ont permis l'obtention des conditions d'entrée et de sortie de la hotte étudiée.

Mots clefs : écoulement laminaire, système de diffusion, système à dilution contrôlée, plafond mince, hotte à flux laminaire

### NOMENCLATURE

$d_0$	Diamètre des trous	(m)
$D_h$	Diamètre hydraulique	(m)
$e$	Epaisseur de la plaque perforée	(m)
$f_{ouv}$	Air d'un trou	(m <sup>2</sup> )
$i$	Rapport de sections ( $S_0/S$ )	-
$P_{tot}$	Pression totale	(Pa)
$Q$	Débit d'air nécessaire	(m <sup>3</sup> /s)
$Re$	Nombre de Reynolds	-
$R$	Taux de renouvellement d'air	(h <sup>-1</sup> )
$S$	Surface frontale de la plaque perforée	(m <sup>2</sup> )
$S_0$	Surface utile de la plaque perforée $S_0=Z \cdot f_{ouv}$	(m <sup>2</sup> )
$S_1$	Section terminale du distributeur	(m <sup>2</sup> )
$S_e$	Section d'entrée du distributeur	(m <sup>2</sup> )
$V$	Volume du poste de travail	(m <sup>3</sup> )
$X$	Profondeur du poste de travail	(m <sup>2</sup> )
$x$	Eloignement à la surface frontale	(m)
$Z$	Nombre de trous de la plaque perforée	-
$\alpha$	Coefficient de contraction	-
$\nu$	Viscosité cinématique	(m <sup>2</sup> /s)
$\omega_c$	Vitesse au centre du jet	(m/s)
$\omega_0$	Vitesse à la sortie des ouvertures	(m/s)
$\delta$	Demi_angle d'ouverture du jet	(degré °)

## 1. INTRODUCTION

La hotte ont deux fonctions principales qui sont assurées par le biais d'un filtre dit filtre dynamique; filtration et vitesse d'écoulement d'air supérieure a la vitesse de dépôt des différents types de particules. La vitesse minimale dair est 0,45m/s et il ne doit y avoir aucune source de poussière émettant à contre courant (figure1).

Un traitement d'air admet généralement les caractéristiques suivantes : la température, l'humidité relative, le mouvement d'air et la pureté d'air.

Cette étude traite uniquement les deux derniers paramètres et ce, en admettant que la température et le taux d'humidité sont respectés dans le local où est placé la hotte. On suppose qu'il n'y a pas un apport de chaleur (soufflage isotherme).

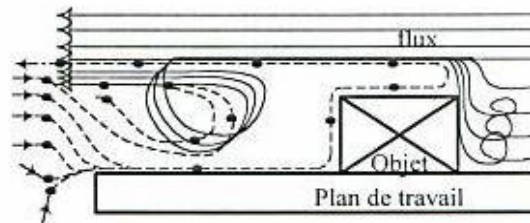


Figure 1. Phénomènes d'induction d'aérosols contaminant le volume de travail [4].

--- trajectoire des aérosols      - - - - - trajectoire des filets d'air

La diffusion horizontale, se fait selon deux principes :

a) par substitution de l'air existant, l'air soufflé remplaçant en totalité l'air présent l'instant d'auparavant ; c'est le principe utilisé dans les salles blanche et les salles d'opération. A cet effet on utilise des grilles ou des plaques perforées.

b) Par coexistence de l'air soufflé avec l'air présent qu'il induit plus ou moins. Ce type de diffusion se répartit lui même en diffusion tangentielle (laminaire) et diffusion diffuse.

Ces principes sont la conséquence d'un système dit à dilution contrôlée assurant un flux laminaire. Les veines d'air se meuvent à vitesses uniformes, les lignes de courant sont disposées régulièrement les unes par rapport aux autres, et l'écoulement étant stable. Les particules de poussières étant immédiatement cernées, et évacuées sans avoir eu le temps de se répandre dans le plan de travail (figure1). La vitesse de l'écoulement à la sortie de la plaque perforée se situe entre 0.35 et 0,5m/s et le taux de renouvellement d'air « R » peut atteindre  $500$  à  $600h^{-1}$  selon la classe de la norme Nr209B adoptée au Etats-Unis [3].

L'air ambiant dépoussiéré sur préfiltre placé dans la bouche de reprise au pied de la hotte est soufflé horizontalement sur la plaque perforée. Après passage à travers le filtre à haute efficacité ( $>0.3\mu m$ ) puis le distributeur, le flux est évacué à 100% par l'ouverture frontale (figure2).

1. Ventilateur centrifuge
2. Filtre à très haute efficacité
3. Distributeur D'air
4. Plaque perforée
5. Préfiltre
6. Plan de travail
7. Tubes UV

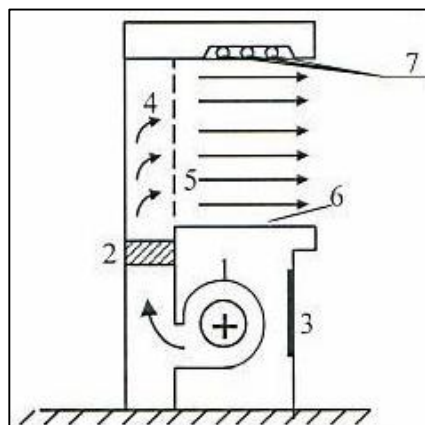


Figure 2. Schéma envisagé de la hotte à flux laminaire

## 2. CONCEPTION DU BANC D'ESSAI

### 2.1 Condition de l'étude

Sur la base des lois dérivant de la diffusion verticale, on procède à une étude sur les plaques perforées pour une diffusion horizontale dans le cas d'un écoulement isotherme, la différence de température entre l'air soufflé et l'air dans le local étant faible. Dans un écoulement isotherme, on ne fait pas de différence entre diffusion horizontale ou verticale. En pratique les procédés de calcul sont la plupart du temps basés sur les lois d'écoulement isotherme.

Les conditions d'écoulement sous une plaque perforée sont représentées sur la figure 3.

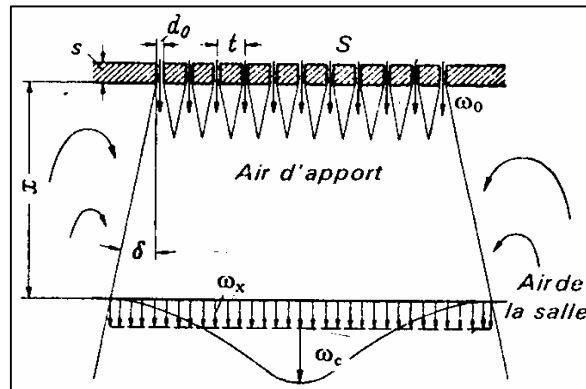


Figure 3. Conditions d'écoulement sous une section de plafond perforée [1].

La figure 4 ci-après établie par Koestel et Tuve [1] représente la relation générale pour les plafonds perforés où les valeurs de la courbe supérieure concernant des plaques métalliques perforées (plafond minces) d'épaisseur  $s=1\text{mm}$  et celles de la courbe inférieure des plaques en matière fibreuse avec  $s=6\text{mm}$ . Les diamètres des trous se situent entre  $d_0=1$  à  $5\text{mm}$ .

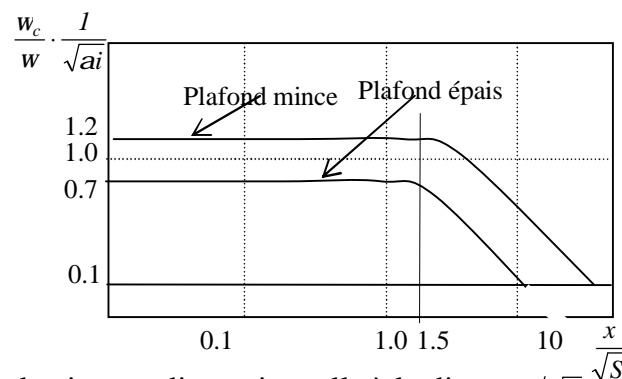


Figure 4: Schéma de la vitesse adimensionnelle à la distance  $x/\sqrt{S}$  pour les plafonds perforés [1].

La vitesse au centre du jet résultant reste constante jusqu'à :

$$\frac{x}{\sqrt{S}} = 1.5 \quad (1)$$

et pour les plaques perforées la valeur de la vitesse adimensionnelle pour laquelle la vitesse centrale reste constante est donnée sous la forme :

$$\frac{w_c}{w} \cdot \frac{I}{\sqrt{ai}} = 1.2 \quad (2)$$

Dans certain cas de distribution, de l'air aspiré s'effectue à travers une plaque perforée, ainsi les jets sont rapidement amortis et leur contribution forment un jet résultant, dont l'épanouissement suit les mêmes lois que celles d'un jet libre. On ne peut pas être sûr que la distribution de l'écoulement sur la longueur sera régulière, pour cela le rapport des sections «  $i$  » entre la surface utile et l'aire de la section frontale doit être très inférieur à 0,5.

$$i = \frac{S_0}{S} = \frac{n \cdot p \cdot d_0^2}{4S} < 0,5 \quad (3)$$

### 2.2 Généralisation de la formule « $x_0 = (2 \text{ à } 6) d_0$ » [5] d'un jet libre sur une multitude de jets voisins (plaque perforée) :

Puisque la vitesse au centre du jet résultant reste constante jusqu'à «  $x = 1,5\sqrt{S}$  », on a donc, à partir de (1) et (3) :

$$\frac{x}{\sqrt{nd_0}} = \frac{x}{n'd_0} = 1,33 \cdot \frac{1}{\sqrt{i}} \quad (4)$$

Pour  $i = 0,5 \Rightarrow \frac{x}{n'd_0} = 1,88 \cong 2$  et Pour  $i = 0,05 \Rightarrow \frac{x}{n'd_0} = 5,95 \cong 6$

On obtient :

$$x_0 = (2 \text{ à } 6) \cdot n' \cdot d_0 \quad (5)$$

### 2.3 Calcul de la vitesse $\omega_0$ à la sortie des perforations :

Pour les plaques perforées, «  $\alpha$  » est compris entre 0,74 et 0,85 d'après [1]. Le choix du nombre de Reynolds se fait d'après [3] selon la courbe  $e_0^{-Re} = f_2(Re)$  figure 5 ci-dessous.

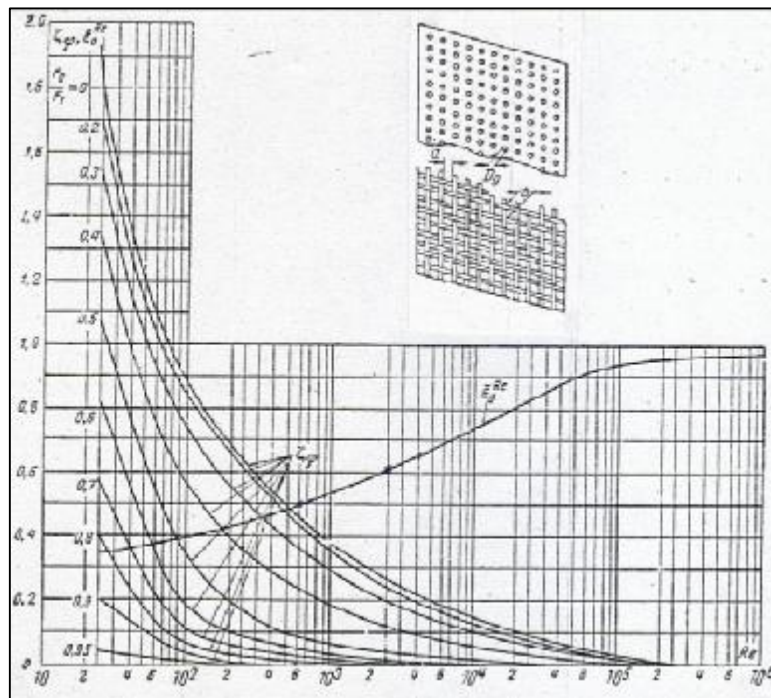


Figure 5. Courbe  $x_j = f_1(Re)$ ,  $e_0^{-Re} = f_2(Re)$  pour grille plane (treillis ou tôle perforée)  
Pour des nombres de Reynolds  $< 10^5$  [3]

La formule (6) nous permet de calculer  $e_0^{-Re}$  pour différentes valeurs de ' $\alpha$ ' :

$$a = \sqrt{\frac{0.342}{e_0^{-Re}}} \quad (6)$$

En utilisant le graphe de la figure 5 :

Pour  $\alpha = 0,74$  nous avons  $Re = 2000$

et pour  $\alpha = 0,85$  nous avons  $Re = 610$

On opte pour la valeur de  $\alpha$  correspondant au nombre de «  $Re$  » le plus faible.

Pour  $\alpha = 0,82$  ;  $i = 0,05$  et  $\omega_c = 0,45$  ; le calcul depuis (2) donne une vitesse  $\omega_o = 1,85 \text{ m/s}$  à la sortie des trous de la plaque. La vitesse d'advection après l'interaction des jets libres provoquent une diminution de la vitesse de  $\omega_o = 1,85$  à  $\omega_c = 0,45 \text{ m/s}$  qui reste constante sur une distance  $1,33 \text{ m}$ .

### 2.3.1 Calcul du diamètre des perforations $d_o$ :

Le diamètre  $d_o$  est, comme les conditions choisies précédemment. On a :

$$Re = \frac{w_o \cdot d_o}{\nu} \quad (7)$$

Pour  $Re = 610$  ;  $\omega_o = 1,85 \text{ m/s}$  ;  $\nu = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (à  $20^\circ\text{C}$ ), on a donc un diamètre  $d_o = 5 \text{ mm}$ .

Cette valeur est comprise dans la plage limite des diamètres utilisés pour l'expérience faite sur les plafonds perforés ( $d_o = 1$  à  $5 \text{ mm}$ )[1], ce qui montre le bon choix du nombre de  $Re$  et par suite du coefficient de contraction «  $\alpha$  ».

## 2.4 Discussion des résultats :

A la sortie de la plaque, les différents jets d'air s'élargissent d'abord comme des jets libres, leur interaction provoque une diminution de la vitesse de sortie qui explique le passage de la vitesse de  $1,85 \text{ m/s}$  de  $0,45 \text{ m/s}$  dans une distance très courte. C'est une propriété des écoulements à travers les plaques perforées. La vitesse reste constante selon les lois du jet libre élémentaire.

La quantité de mouvement ne diminue d'abord qu'à la périphérie de l'ensemble des jets. L'angle d'ouverture du jet (figure 3) est relativement petit (faibles vitesses de découlement). Ces vitesses influent sur l'importance de la longueur du dard du jet, ce qui explique la distance  $1,33 \text{ m}$  pour le jet résultant.

## 3 CONCLUSION :

Le dimensionnement énergétique de cette hotte nous dirige vers un appareil économique, qui assurerait un flux laminaire correct. L'idée d'utiliser les plaques perforées pour la diffusion d'air est de réduire la surface des filtres dynamiques très chers. L'intérêt de l'étude faite sur les plafonds perforés a permis de généraliser la loi propre au jet libre sur un jet résultant de multitude de jets adjacents.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Reitschel H., Raiss W., Traité de chauffage et de climatisation, Tome II, Dunod Paris, 1974
2. Reknagel, Springer, Honmann, Manuel pratique du génie climatique, PYC, 1986
3. Idel'cik.I.E, Memento de pertes de charge, Eyrolles, 1986
4. Catalogue pour matériels scientifiques et de laboratoire, "Bioblock scientifique" 1990, 1994, 1997.
5. Andreiff G. et Notbeck, Manuel de conditionnement d'air, T2, Edition PYC, Paris, 1986