

Soumis le : 15 Mars 2015

Forme révisée acceptée le : 14 Mai 2015

Email de l'auteur correspondant

abdoucomondo1989@hotmail.fr

Etude expérimentale d'un jet turbulent à diffuseur muni de lobes : Application au confort dans les locaux à usage d'habitation

^aA. BENNIA, ^aL. LOUKARFI, ^aM. BRAIKIA, ^aA. KHELIL, ^bH. NAJI,

^aLaboratoire de Contrôle, Essai, Mesure et Simulation Mécaniques, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Hay Salem, route nationale N° 19, 02000 Chlef (Algérie)

^bLaboratoire de Génie civil et géo-Environnement, Université d'Artois, Béthune, France

(Auteur correspondant : abdoucomondo1989@hotmail.fr)

Résumé

Nous présentons, dans ce travail une étude expérimentale d'un jet lobé, appliqué au confort dans les locaux à usage d'habitation. L'objectif visé est l'amélioration de l'efficacité de la diffusion de l'air dans la zone d'occupation, par un moyen passif de contrôle de l'écoulement. Le dispositif expérimental réalisé est composé d'un châssis en métal de 1.20m de longueur, 1.2m de largeur et 2.0m de hauteur sur lequel est fixé le dispositif de soufflage. Ce dernier comporte un diffuseur de soufflage d'air dirigé du haut vers le bas. Les expériences ont été réalisées dans un local de 3.0m de longueur, 2.5m de largeur et 2.5m de hauteur. Ces dimensions permettent de réaliser au mieux des essais dans des conditions de jet vertical libre à forces de poussées défavorables. Le local a été aussi isolé du milieu extérieur lors des expériences. Une étude comparative de la performance de différentes géométries de buses a été menée. Par l'analyse des profils de la vitesse axiale du jet, la comparaison de jet lobé utilisant diverses géométries de lobes montre qu'un diffuseur à lobes inclinés homogénéise relativement mieux l'écoulement d'air dans le local expérimental qu'un diffuseur lobé à section droite. Aussi, le diffuseur ayant des lobes à ouverture plus évasée et à faible hauteur s'avère plus performant. Par ailleurs, en considérant comme référence un jet tourbillonnaire (swirling jet), il s'avère que le jet lobé dans des conditions de soufflage similaires améliore relativement mieux la désertification thermique de l'écoulement d'air.

Mots clés: jet lobé, jet tourbillonnaire, homogénéisation thermique, étude expérimentale, .

Abstract

We present in this work an experimental study of a lobed jet, applied to the comfort premises for residential use. The objective is to improve the efficiency of the distribution of air in the occupied zone by a flow control means passive. The realized experimental device consists of a metal frame of length 1.20m, 1.2m wide and 2.0m height to which is attached the blowing device. The latter comprises an air blast diffuser directed from the top downwards. The experiments were carried out in a local length of 3.0m, 2.5m wide and 2.5m high. These dimensions make it possible to achieve the best tests in conditions of free vertical jet unfavorable thrust forces. The local has also been isolated from the external environment during experiments. A comparative study of the performance of different nozzle geometries was conducted. By analyzing the profiles of the axial velocity of the jet, comparing lobed jet geometries using various lobes shows that inclined diffuser homogenizes relatively better air flow in the experimental local lobbed at a broadcaster cross section. Also, the diffuser having more lobes flared opening and low height outperforms. Moreover, considering as reference a swirling jet (swirling jet), it turns out that the lobed jet blowing in similar conditions relatively better desertification improves thermal airflow.

Keywords: lobed jet, jet vortex, thermal homogenization, experimental study. thermique, étude expérimentale, .

Nomenclature

D_e diamètre équivalent, m

H hauteur de lobe, m

L longueur de lobe, m

U_0 vitesse moyenne de soufflage, $m.s^{-1}$

U_i vitesse dans différents points du jet, $m.s^{-1}$

r/D_e direction radiale

X/D_e direction axiale

T_a température ambiante, K

T_i température dans différents points du jet, K

T_{max} température de soufflage, K

T_r température réduite, $T_r = \frac{T_i - T_a}{T_{max} - T_a}$

α_{int} angle intérieur des lobes, °C

α_{ext} angle extérieur des lobes, °C

1. Introduction

Un intérêt important est donné à l'amélioration du processus de mélange des écoulements turbulents aux moyens de structures tourbillonnaires générées et intensifiées artificiellement, pour ses aspects pratiques et fondamentaux. On conçoit que le processus de mélange est intimement lié à la transition de la turbulence [1, 2] et que la géométrie et les perturbations initiales de l'écoulement conditionnent fortement sa génération ainsi que sa transition [1]. En ce qui concerne les applications, elles sont nombreuses. La force de propulsion des réacteurs d'avions est conditionnée par le processus de mélange, l'efficacité de la combustion dans les chambres de combustion, la dispersion des polluants sur les sites industriels et enfin, dans les agglomérations ou de transport. La qualité de la diffusion d'air et par conséquent le confort thermique des usagers.

Le contrôle passif permet l'amélioration de la diffusion de l'air dans le bâtiment. Cela consiste à utiliser entre autres, des diffuseurs de géométries lobées. Ces géométries ont montré à ce jour leur efficacité dans les domaines de l'aéronautique et de l'aérospatiale. Elles sont introduites dans la conception des éjecteurs placés en sortie des réacteurs. Elles sont également utilisées dans le domaine de la combustion dans la conception d'injecteurs offrant une meilleure stabilité de combustion [3, 4, 5, 6]. Ce contrôle passif permet l'amélioration de la diffusion de l'air dans le bâtiment [7].

Le gain d'induction observé se produit sans réduction de la portée du jet, ceci en raison d'une accélération de l'écoulement due à la contraction de la veine au soufflage [3, 5]. De larges structures secondaires se développent dans les creux de la buse lobée. Le phénomène de croisement d'axes participe à l'accroissement de la performance d'induction du jet lobé. Il est également possible d'optimiser la géométrie de la perforation lobée élémentaire du diffuseur, toujours dans le but d'améliorer sa performance globale. Les travaux antérieurs [3, 8] portant sur l'introduction des jets lobés dans le domaine du traitement de l'air du bâtiment, ont été réalisés en conditions isothermes. Nous nous proposons dans le cadre de ce travail d'explorer la performance du jet lobé dans le même domaine en conditions de chauffage.

2. Banc d'essai

Le dispositif expérimental réalisé est composé d'un châssis en métal de dimensions $1.20m$ de longueur, $1.2m$ de largeur et $2.0m$ de hauteur sur lequel est fixé le dispositif de soufflage (voir Figure 1). Ce dernier comporte un

diffuseur de soufflage d'air dirigé du haut vers le bas. Les expériences ont été réalisées dans un local de dimensions $3.0m$ de longueur, $2.5m$ de largeur et $2.5m$ de hauteur. Ces dimensions permettent de réaliser au mieux des essais dans des conditions de jet vertical libre et chaud à forces de poussées défavorables. Le local a été isolé du milieu extérieur lors des expériences [9]. En l'absence de contrôle des conditions thermiques au niveau des parois du local, la température ambiante n'est pas maintenue constante. L'écart de température jet/ambiance est néanmoins contrôlé par réajustement de la température de soufflage du jet. Il s'en suit la conservation du nombre d'Archimède du jet lors des essais.

L'installation est composée d'un châssis sur lequel est fixé le dispositif de soufflage (voir figure 1). Ce dernier comporte un diffuseur de soufflage d'air chaud dirigé du haut vers le bas. Les températures (T_j) du jet sont mesurées par un thermo-anémomètre multifonctionnel. La sonde est supportée par une tige guidée verticalement et horizontalement pour balayer le maximum d'espace. Par ailleurs, un thermomètre digital est placé dans le local à l'extérieur du jet pour permettre la mesure instantanée de la température ambiante (T_a).

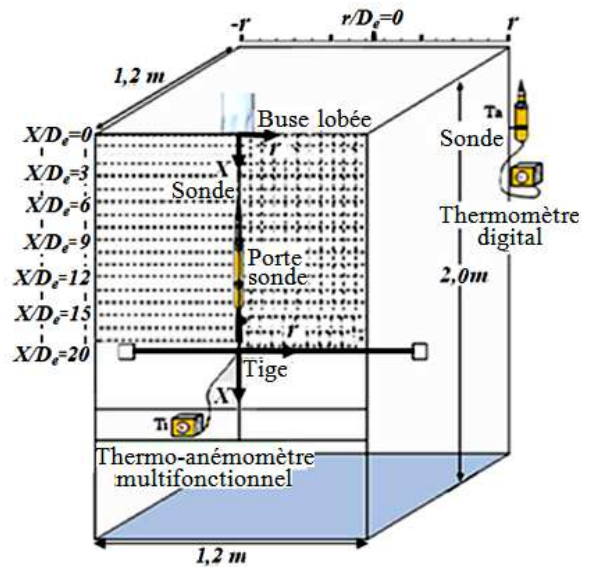


Fig. 1. Schéma descriptif de l'installation expérimentale

3. Conditions d'essais

La figure 2 montre l'unique buse lobée utilisée. La buse est composée de 6 lobes inclinés de 0° vers l'extérieur de l'écoulement. Ses creux sont inclinés de 22° vers l'intérieur. La buse, est fabriquée à partir d'un tube de section circulaire de $0.040m$ de diamètre et de $0.09m$ de longueur. La largeur du lobe est de $0.006m$ et sa hauteur de

56 Etude expérimentale d'un jet turbulent à diffuseur muni de lobes : Application au confort dans les locaux à usage d'habitation

0.01m, avec ouverture plus évasée des lobes. La température de soufflage jet est de 344.16K (71°C) pour le jet et la vitesse axiale initiale du jet est de 8 m.s⁻¹.

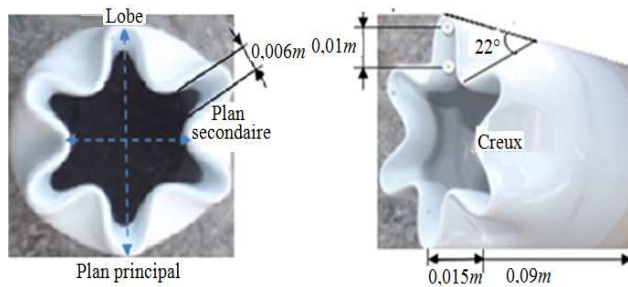


Fig. 2. (a) Géométrie du plan de soufflage (YZ), (b) Photographie d'une buse lobée

Les températures (T_i) et (T_a) ont été mesurées avec des sondes thermiques ayant une précision de 1/100. La température réduite (T_r) est obtenue par référence à la température maximale moyenne au soufflage et à la température ambiante. L'incertitude associée est estimée à 7 %.

4. Résultats et discussion

5.1 Comparaison des profils de vitesse axiale avec les jets lobés libre

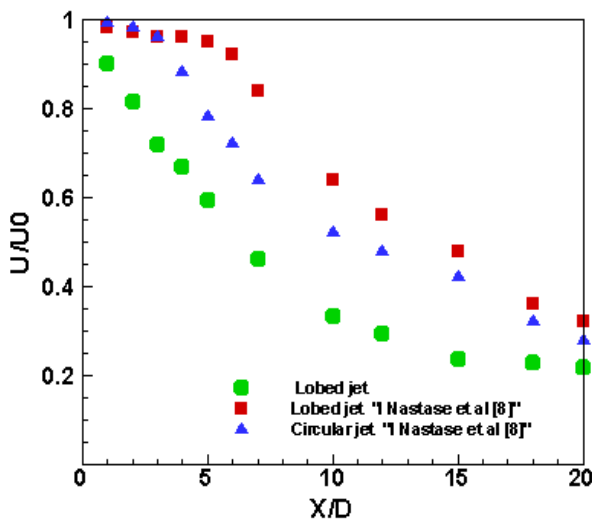


Fig. 3. Comparaison des profils de vitesses axiales des jets lobés en mode libre

La figure 3 montre la distribution axiale de la vitesse sur une distance axiale de 20 diamètres équivalents de trois types de buses différentes : Pour la buse lobée [8], la largeur du lobe est de 0.006 m, sa hauteur de 0.015 m, les angles entrant et sortant des lobes sont respectivement $\alpha_{int}=22^\circ$ et $\alpha_{ext}=14^\circ$ et la buse lobée de la présente étude, la

largeur du lobe est de 0.006 m, sa hauteur de 0.010 m, les angles entrant et sortant des lobes sont respectivement $\alpha_{int}=22^\circ$ et $\alpha_{ext}=0^\circ$.

La buse lobée [8] présente des lobes sans ouverture tandis que la buse lobée de la présente étude présente des lobes avec ouverture plus évasée.

Les décroissances des vitesses axiales présentées en figure 3 permettent d'estimer les longueurs des noyaux potentiels respectivement à $6D_e$ pour le jet circulaire [8], à $3D_e$ pour le jet lobé [8] et à $0.25D_e$ pour le jet lobé de la présente étude.

Ce dernier entraîne une diminution de vitesse dans les zones proches de l'origine du soufflage.

Cette diminution rapide de la vitesse axiale se traduit par un transfert de l'énergie vers la direction radiale, en assurant un développement radial de l'écoulement.

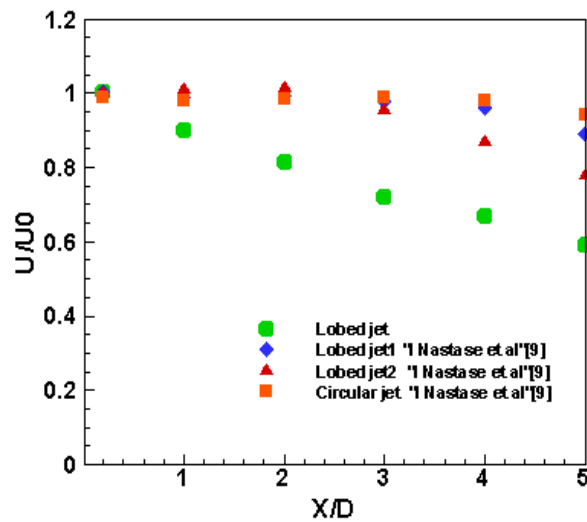


Fig. 4. Comparaison des profils de vitesses axiales des jets lobés en mode libre

La figure 4 montre la distribution axiale de la vitesse sur une distance axiale de 5 diamètres équivalents pour quatre types de buses différentes : buse circulaire [9], buse lobée1 [9], buse lobée2 [9] et buse lobée de la présente étude, de même diamètre équivalent $D_e=0.04m$ et de même géométrie dans le plan d'injection. Pour la buse lobée1 et 2 [9], et buse lobée de la présente étude, de même largeur du lobe 0.006 m et différentes hauteurs 0.015 m et 0.01 m respectivement. Les angles entrant et sortant des lobes de la buse lobée1 [9] sont respectivement $\alpha_{int}=0^\circ$ et $\alpha_{ext}=0^\circ$, les angles entrant et sortant des lobes de la buse lobée2 [9] sont respectivement $\alpha_{int}=22^\circ$ et $\alpha_{ext}=14^\circ$ et les angles

entrant et sortant des lobes de la buse relative à la présente étude sont respectivement $\alpha_{in}=22^\circ$ et $\alpha_{ext}=0^\circ$.

La buse lobée 1 et 2 [9] présentes des lobes sans ouverture tandis que la buse lobée de la présente étude présente des lobes avec ouverture plus évasée.

Les décroissances des vitesses axiales présentées en figure 4 s'accordent avec le résultat précédent et permettent d'estimer les longueurs des noyaux potentiels respectivement à $4D_e$ pour le jet circulaire [9], à $3D_e$ pour le jet lobé 1 [9], à $2D_e$ pour le jet lobé 2 [9] et à $0.25D_e$ pour le jet lobé de la présente étude.

Le diffuseur de la présente étude ayant des lobes à ouverture plus évasée et à faible hauteur s'avère plus performant que les autres.

5.2. Comparaison des profils de température axiale et radiale avec les jets tourbillonnaires libres.

Les figures 5 et 6 montrent la distribution axiale et radiale de la température de deux types de jets différents dans les mêmes conditions, l'un lobé et l'autre tourbillonnaire (swirling jet) à angle d'inclinaison 60° [10].

5.2.1 Profil de températures axiales

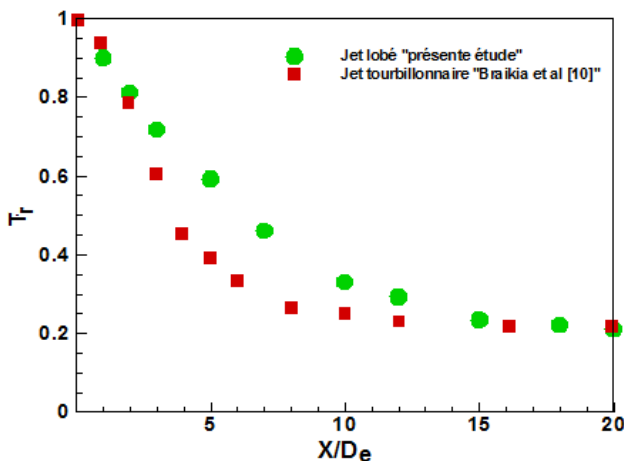


Fig. 5. Comparaison des profils de températures axiales entre le jet lobé et le jet tourbillonnaire en mode libre

Pour le jet tourbillonnaire à angle d'inclinaison 60° [10], on constate que le maximum de température est atteint tout près de l'orifice de soufflage $1D_e$, puis la température axiale subit une décroissance très rapide jusqu'à $4D_e$ de l'axe de soufflage, pour atteindre presque la moitié de sa valeur initiale. De la station axiale $X=4D_e$ et jusqu'à $8D_e$,

on observe une deuxième pente beaucoup moins accentuée que la première. Les températures axiales sont stabilisées aux stations éloignées ($X=8D_e$) des orifices de soufflage.

Pour la configuration du jet lobé de la présente étude, on constate que le maximum de température est atteint tout près de l'orifice de soufflage $1D_e$, puis la température axiale subit une décroissance très rapide jusqu'à $7D_e$ de l'axe de soufflage, pour atteindre presque $2/3$ de sa valeur initiale. De la station axiale $7D_e$ et jusqu'à $15D_e$, on observe une deuxième pente beaucoup moins accentuée que la première.

5.2.2. Profil de températures radiales

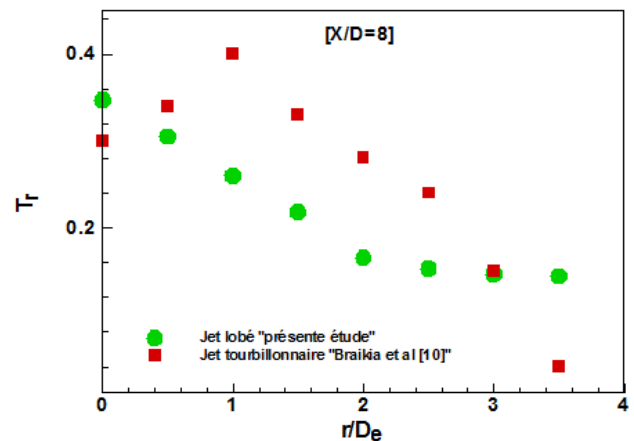


Fig. 6. Comparaison des profils de température radiale entre un jet lobé et un jet tourbillonnaire en mode libre

Pour la configuration du jet simple lobé de la présente étude, la température radiale diminue tout en s'éloignant de l'axe du jet, au-delà de $r/D_e=2$ et jusqu'à 4, l'intensité de température se stabilise et se régularise le long de l'écoulement.

Pour la configuration du jet simple tourbillonnaire à angle d'inclinaison 60° [10], on remarque que la température augmente pour atteindre son maximum près du point $r/D_e=1$, puis elle commence à décroître rapidement jusqu'au point $r/D_e=3.5$. L'augmentation de la température entre le point $r/D_e=0$ et $r/D_e=1$ est due à la conception du diffuseur d'air, car la périphérie de l'orifice de soufflage est plus chaude que le centre de ce dernier (support de générateur de tourbillonnement) ce qui justifie la faible température au centre du jet.

Dans des conditions de soufflage similaires la figure 6 montre que le jet simple lobé de la présente étude assure mieux la stabilité des températures radiales, tandis que le

58 Etude expérimentale d'un jet turbulent à diffuseur muni de lobes : Application au confort dans les locaux à usage d'habitation

jet tourbillonnaire à angle d'inclinaison 60° [10] assure mieux l'épanouissement des températures radiales.

5. Conclusion

Cette première partie de l'étude expérimentale, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- * L'analyse des profils axiaux et radiaux des températures mis a en évidence l'importance et le rôle que jouent le type de jet dans la performance de mélange de l'écoulement d'air.
- * Le jet lobé assure une meilleure stabilisation des températures radiales par rapport au jet tourbillonnaire.
- * Le diffuseur (présente étude) ayant des lobes à ouverture plus évasée et à faible hauteur s'avère plus performant que les autres et permet d'obtenir un bon mélange et une nette homogénéisation d'ambiance.
- * On constate que le jet tourbillonnaire à angle d'inclinaison 60° [10] assurent une meilleure épanouissement des températures radiales par rapport au jet lobé.
- * Le jet tourbillonnaire vu son avantage du point de vue épanouissement serait plutôt adapté pour traite de grands volumes.

Références

- [1] D. Aliou, *Simulation de jets d'air lobés pour l'optimisation des Unités Terminales de Diffusion d'Air*. Université de La Rochelle. Doctorat en sciences, (2012).
- [2] P. E. Dimotakis, The mixing transition in turbulent flows. *J. of Fluid Mechanics.*, 409 (2000), 68-69.
- [3] A. Meslem, I. Nastase, F. Allard, Passive mixing control for innovative air diffusion terminal devices for buildings », *Building and Environment.*, 45-12 (2010), 2679-2688.
- [4] A. Meslem, M. Elhassan, I. Nastase, Analysis of jet entrainment mechanism in the transitional regime by time-resolved PIV., *J. of Visualization.*, 14-1 (2011), 41-52.
- [5] M. Elhassan, A. Meslem, K. Abed-Meraïm, Experimental investigation of the flow in the near-field of a cross-shaped orifice jet, *Phys of Fluids.*, 23-4 (2011), 1-16.
- [6] I. Nastase, A. Meslem, V. Iordach, I Colda, Lobed grilles for high mixing ventilation - An experimental analysis in a full scale model room, *Building and Environment.*, 46-3 (2011), 547-555.
- [7] A. Meslem, F. Bode, I. Nastase, O. Martin, [Optimization of Lobed Perforated Panel Diffuser: Numerical Study of Orifice Geometry](#), *Modern Applied Science.*, 6-12 (2012), 59.
- [8] I. Nastase, *Analyse des jets lobés en vue de leur intégration dans les Unités Terminales de Diffusion d'air*. Université de La Rochelle. Thèse de doctorat en science, (2007).
- [9] M. Braikia, L. Loukarfi, A. Khelil. H. Naji, Improvement of thermal homogenization using multiple swirling jets, *Thermal science*, 16-1(2012), 239-250.
- [10] M. Braikia, L. Loukarfi, A. Khelil, *Homogénéisation des ambiances par jets tourbillonnaires multiples*. Éditions Universitaires Européennes. Allemagne, (2012), 130 pages.