

DESTRATIFICATION THERMIQUE PAR APPLICATION D'UN JET TURBULENT A DIFFUSEUR MUNI DE LOBES

Abderazak BENNIA^{1*}, Larbi LOUKARFI¹, Ali KHELIL¹, Hachimi FELLOUAH², Mohamed BRAIKIA¹,
Said NECHAD¹

¹Laboratoire de Contrôle, Essai, Mesure et Simulation Mécaniques, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Hay Salem, route nationale N° 19, 02000, Algérie.

²Department of mechanical engineering, Université de Sherbrooke, 2500 boul. Université, Sherbrooke, Québec, Canada.

*(auteur correspondant : bennia.a_unv@hotmail.com)

RÉSUMÉ

Dans cette étude expérimentale, on utilise un jet lobé en vue d'améliorer l'efficacité de la diffusion de l'air soufflé dans une enceinte. L'installation réalisée consiste en un châssis sur lequel on fixe le dispositif de soufflage, composé d'un générateur d'air à diffuseur muni de lobes, dirigé verticalement, du haut vers le bas. L'analyse des profils de température axiale et radiale dans l'écoulement turbulent, montre pour la zone du noyau potentiel, des distributions plus étalées radialement, selon le plan principal et ce, du fait de l'ouverture plus évasée des lobes. Tandis que pour la zone de transition et pour celle où l'écoulement est pleinement établi, que ce soit selon le plan principal ou secondaire, le jet sera similaire au jet circulaire. Ainsi, comparé au jet turbulent classique, ce type de diffuseur permettant une meilleure destratification thermique, laisse espérer des applications pour le chauffage, la climatisation, le séchage, le conditionnement...dans les secteurs tertiaire ou industriel.

Mots Clés: *Jet lobé, Homogénéisation Thermique, Étude Expérimentale, Ventilation.*

NOMENCLATURE

D	diamètre équivalent, m	Lettres grecques :	
H	hauteur de lobe, m	α_{int}	angle intérieur des lobes, °
L	longueur de lobe, m	α_{ext}	angle extérieur des lobes, °
U_0	vitesse moyenne à la sortie de diffuseur, $m.s^{-1}$	Indices / Exposants :	
T_a	température ambiante, °C	r/D	direction radiale
T_i	température dans différents points du jet, °C	X/D	direction axiale
T_{max}	température de soufflage, °C	PP	plan principal
T_r	température réduite	SP	plan secondaire

1. INTRODUCTION

Les processus de mélange sont intimement liés à la transition de la turbulence [1, 2]. 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 : Poussée des réacteurs d'avions, dispersion des polluants, chauffage, ventilation et climatisation dans les locaux à usage d'habitation [1-4]. Une bonne répartition spatiale

des faibles débits d'air neuf à injecter est exigée dans les locaux habitables, pour un meilleur confort des usagers [1]. Afin d'améliorer l'efficacité de la diffusion d'air à moindre coût en tenant compte l'aspect esthétique dans la conception des unités terminales de diffusion d'air, on a trouvé un moyen dit «passif» qui consiste à souffler le jet à travers un diffuseur muni de lobes. Ce contrôle passif permet l'amélioration de la diffusion de l'air dans le bâtiment [5-7]. Si les données disponibles dans la littérature sont qualitatives ou limitées pour l'application de la diffusion de l'air dans des espaces habitables, elles sont toutefois précieuses pour guider nos choix sur des géométries performantes et intégrables dans des unités terminales de diffusion d'air. Cette constatation motive l'étude bibliographique sur les jets lobés qui fait l'objet de cette étude et qui permet de sélectionner des géométries à tester dans des conditions cohérentes avec l'application. Bennia *et al* [8] présente une étude expérimentale d'un jet turbulent à diffuseur muni de lobes, appliqué au confort d'hiver 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 à moindre coût, par un moyen passif de contrôle de l'écoulement moteur de la ventilation. Une étude comparative de la performance de différents types de jets a été menée. Par l'analyse des profils de température axiale du jet pour 20 diamètres équivalents, la comparaison entre le diffuseur lobé à ouverture plus évasée et à faible hauteur et le diffuseur avec et sans tourbillonnement montre que le jet lobé dans des conditions de soufflage similaires assure mieux la stabilité des températures radiales tandis que le jet tourbillonnaire à angle d'inclinaison 60° assure mieux l'épanouissement des températures radiales. Bennia *et al* [9] présente également une étude comparative de la performance de différentes géométries de buses. Par l'analyse des profils de la vitesse axiale du jet, la comparaison du jet lobé utilisant diverses géométries de lobes montre qu'un diffuseur à lobes inclinés homogénéise l'écoulement d'air dans le local expérimental relativement mieux 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 le jet tourbillonnaire (swirling jet) comme référence, il s'avère que le jet lobé dans des conditions de soufflage similaires améliore l'homogénéisation thermique de l'écoulement d'air. Dans une étude précédente, Bennia *et al* [10] ont s'intéressé à l'étude expérimentale et numérique d'un jet turbulent libre à diffuseur muni des lobes, utilisé dans la climatisation et le chauffage des locaux à usage d'habitation. Expérimentalement, ils ont mesuré le champ de vitesse axiale et radiale du domaine de calcul. L'analyse dynamique des profils axiale et radiale dans l'écoulement turbulent, montre pour la zone du noyau potentiel, des distributions plus étalées radialement, selon le plan principal et ce, du fait de l'ouverture plus évasée des lobes. Tandis que pour la zone de transition et pour celle où l'écoulement est pleinement établi, ces profils ne sont pas influencés par les lobes et les creux, que ce soit selon le plan principal ou secondaire, le jet sera similaire au jet circulaire. Numériquement, en utilisant le logiciel commercial Fluent, basé sur la méthode des volumes finis les résultats obtenus avec le modèle de turbulence (RNG $k-\varepsilon$ et SST $k-\omega$), sont en bon accord avec les résultats expérimentaux. Les résultats obtenus montrent l'intérêt de la caractérisation de ce type de jet pour son application au CVC. L'objectif principal de cette étude est d'établir, la distribution des températures et des vitesses, d'abord expérimentalement et ensuite numériquement avec le logiciel «Fluent», pour une configuration de jet d'un diffuseur lobé. Ce type d'écoulement, en vue de son application à la ventilation des locaux à usage d'habitation.

2. BANC D'ESSAI ET CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Le montage expérimental est essentiellement conçu pour générer un jet d'air à partir d'un diffuseur lobé. Les expériences ont été réalisées dans un local de dimensions 3,0 m de longueur, 2,5 m de largeur et 2,5 m 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. 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 que le du nombre d'Archimède du jet est conservé lors des essais. L'installation réalisée est composée d'un châssis sur lequel est fixé le dispositif de soufflage (figure 1). Ce dernier comporte un diffuseur de soufflage d'air chaud dirigé du haut vers le bas. Les températures de l'écoulement sont mesurées par un thermo-anémomètre multifonctionnel. La sonde est supportée par un tige guidée verticalement et horizontalement pour balayer le maximum d'espace. L'erreur de précision de la sonde thermique est $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Un thermomètre digital est placé à l'extérieur de l'écoulement dans le local pour permettre la mesure instantanée de la température ambiante (T_a). Les dispositifs expérimentaux de mesures en mode libre sont représentés sur la figure 1. Les température ambiante T_a , la température T_i du jet en différents points, sont relevées simultanément.

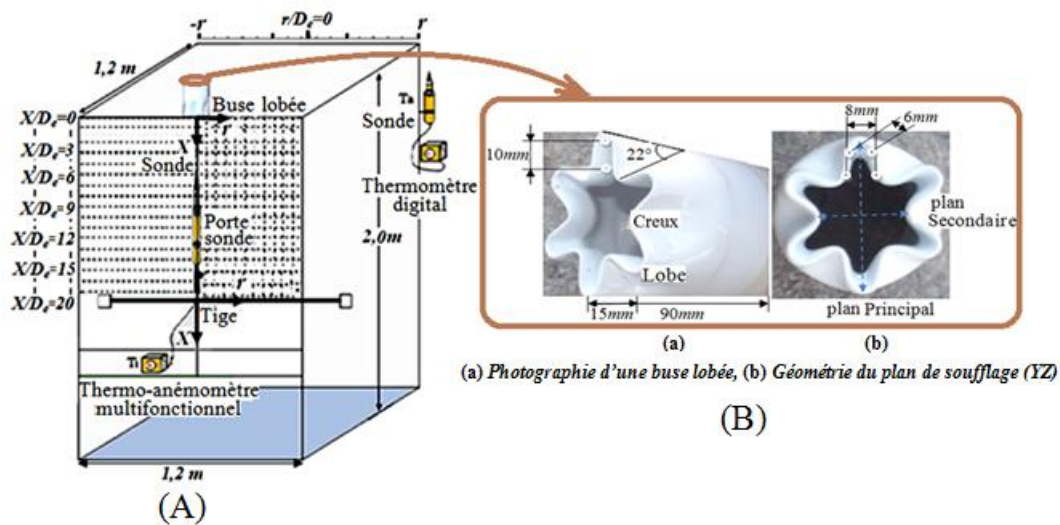


FIGURE 1. Schéma descriptif de l'installation expérimentale.

La figure 1(B) montre la buse lobée qui est composée de 6 lobes inclinés avec un angle de 0° par rapport au plan de soufflage. Ses creux sont inclinés de 22° vers l'intérieur. La buse, est d'une section circulaire de 46 mm de diamètre et de 90 mm de longueur. Les lobes sont avec des ouvertures plus évasée, la largeur de chacun est 6 mm et sa hauteurs est 10 mm. La température initiale du jet d'air au niveau de l'orifice de soufflage est de 71°C et la vitesse axiale initiale est de $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3. ESTIMATION DES ERREURS DE MESURE

Les températures (T_i) et (T_a) ont été mesurées avec des sondes thermiques ayant une précision de 5/100. Elles ne sont relevées que lorsque la température a été stable. La température réduite (T_r) est obtenue par référence à la différence entre la température maximale moyenne, à la sortie de l'orifice de soufflage, et la température ambiante.

$$T_r = \frac{T_i - T_a}{T_{max} - T_a} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta T_r}{T_r} = \frac{\Delta T_i}{T_i} + \frac{\Delta T_a}{T_a} + \frac{\Delta T_a}{T_a} + \frac{\Delta T_{max}}{T_{max}} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta T_r}{T_r} = \frac{\Delta T_i}{T_i} + \frac{2\Delta T_a}{T_a} + \frac{\Delta T_{max}}{T_{max}} \quad (3)$$

Les calculs donnent pour l'incertitude associée aux mesures des températures, une estimation inférieure à 5 %.

4. RESULTATS

4.1 PROFIL EXPÉRIMENTAL DE LA TEMPÉRATURE AXIALE D'UN JET LOBÉ LIBRE

Le profil de température réduite (T_r) d'un jet d'air lobé est présenté ci-dessous.

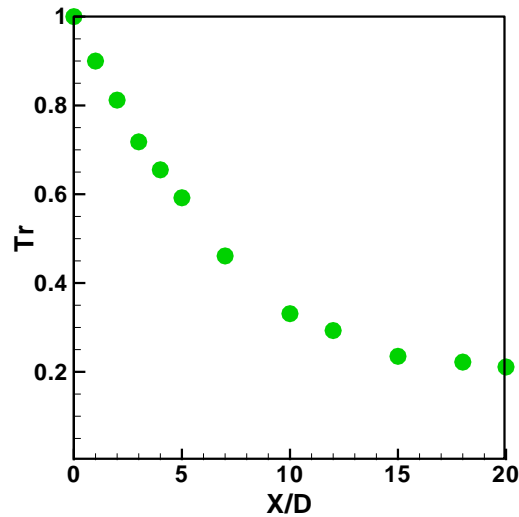


FIGURE 2. Profils de température axiale d'un jet lobé en mode libre.

La figure 2 montre la distribution axiale de la température réduite (T_r) sur une distance axiale de 20 diamètres équivalents pour un seul jet lobé. Le profil de distribution de température axiale, présente une courbe d'allure gaussienne dans l'intégralité du jet et mettent en évidence que la stabilité de la température apparaît lorsque l'on s'éloigne de l'orifice de soufflage. On constate que le maximum de température est atteint tout près de l'orifice de soufflage $1D_e$, puis la température axiale décroissent rapidement jusqu'à $7D_e$, 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. Au-delà de 15 diamètres équivalents, l'intensité de température s'affaiblit et se régularise le long de l'écoulement. Ce résultat permet de quantifier l'importance relative de l'inclinaison du creux par rapport à la géométrie lobée du plan de soufflage. Cette diminution rapide de la température axiale se traduit par un transfert de l'énergie vers la direction radiale.

4.2 PROFILS EXPÉRIMENTAUX DES TEMPÉRATURES RADIALE D'UN JET LOBÉ LIBRE

La figure 3 montre les profils de températures radiales pour différentes stations de mesure ($X/D_e=1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15$ et 20).

4.2.1 PLANS PRINCIPAL ET SECONDAIRE

La figure 3 montre les profils comparés des températures radiales dans les plans principal et secondaire pour un jet lobé en mode libre.

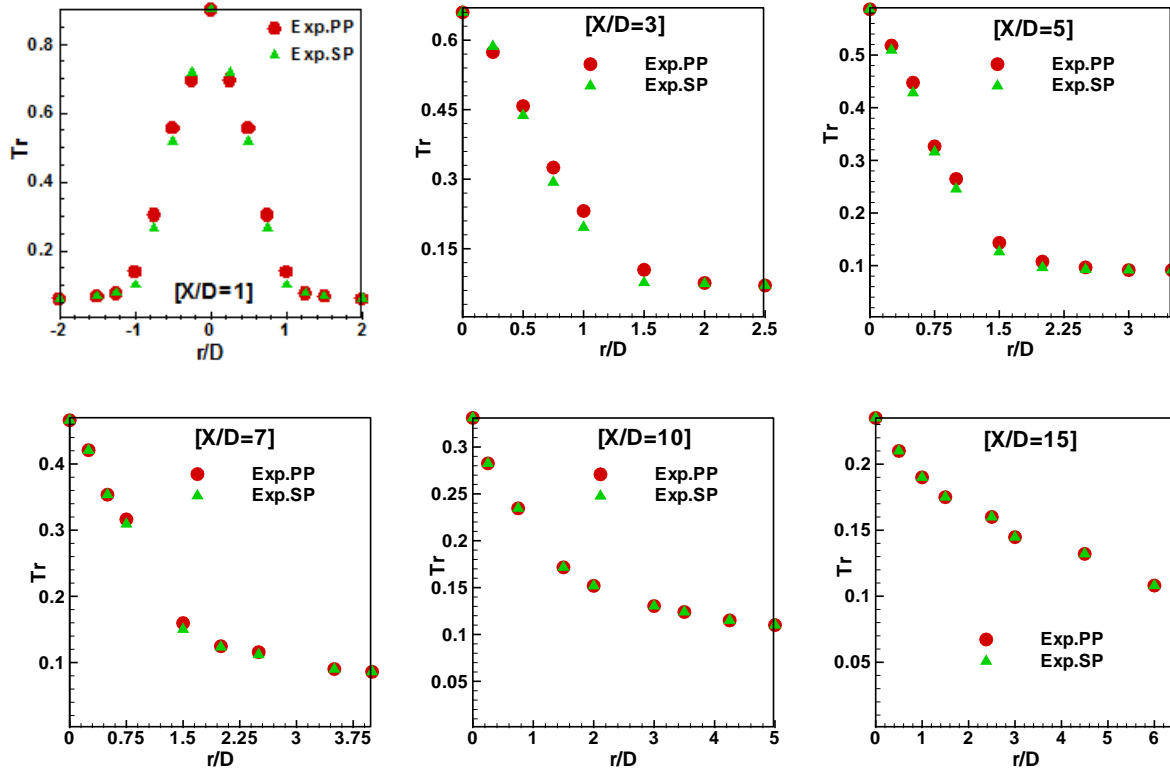


FIGURE 3. Profils de température radiale d'un jet lobé en mode libre.

Les profils de température radiale pour les deux plans étudiés, aux différentes stations axiales sont représentés en figure 3.

Tout d'abord, les mesures relevées pour la configuration du jet lobé en mode libre étudié, ont été faits sur la totalité du jet. Les résultats obtenus montrent que, pour un même plan qu'il soit principal ou secondaire, l'écoulement est axisymétrique indiquant une égale capacité de transfert dans toutes les directions. La figure 4 pour la station $[X/D_e=1]$ est explicite à ce sujet. Dans le plan de symétrie de la configuration étudiée (figure 4), on constate que la température décroît rapidement dans la direction radiale d'une valeur maximale proche de l'axe du jet à une valeur minimale et tend vers la température ambiante T_a . De la station axiale $1D_e$ jusqu'à $7D_e$, on remarque clairement l'influence du plan principal sur l'épanouissement radial des températures. On remarque également, une légère décroissance de la température dans le cas du plan secondaire. Cette différence peut s'expliquer par l'influence d'ouverture plus évasée des lobes. Au-delà de 7 diamètres équivalents jusqu'à $20D_e$, l'écoulement n'est pas influencé par le type de plan. Le jet se présente comme un jet circulaire libre et c'est pourquoi les profils des températures sont identiques, de même épanouissement radial pour les deux plans principal et secondaire.

5. CONCLUSIONS

Pour assurer le confort des occupants, l'ambiance d'un local à usage d'habitation doit être homogène en température de soufflage, à partir d'un diffuseur d'air approprié, ce que n'est pas assuré par les unités terminales classiques.

Cette étude du jet à diffuseur muni de lobes a été faite dans le but de tester ses performances en termes d'homogénéisation de ce type d'ambiance. Par rapport au jet circulaire, le jet lobé est caractérisé par un plan principal et un plan secondaire. Il est le siège d'un important cisaillement transversal dû à l'inclinaison des creux.

Dans la région du noyau potentiel, les profils thermiques et dynamiques sont plus étalés au niveau du plan principal et ce, du fait de l'ouverture plus évasée des lobes. Tandis que dans la zone de transition et dans la région de l'écoulement pleinement établi, ces profils ne sont pas influencés par le type de plan et alors le jet sera similaire à celui du jet circulaire.

REFERENCES

- [1] A. Dia, 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, *Journal of Fluid Mechanics*, 409, 68-69, 2000.
- [3] A. Meslem, I. Nastase and F. Allard, Passive mixing control for innovative air diffusion terminal devices for buildings, *Building and Environment*, 45, 2679-2688, 2010.
- [4] A. Meslem, M. Elhassan and I. Nastase, Analysis of jet entrainment mechanism in the transitional regime by time-resolved PIV, *Journal of Visualization*, 14, 41-52, 2011.
- [5] M. Elhassan, A. Meslem and K. Abed-Meraïm, Experimental investigation of the flow in the near-field of a cross-shaped orifice jet, *Phys of Fluids*, 23, 1-16, 2011.
- [6] I. Nastase, A. Meslem, V. Iordach and I. Colda, Lobed grilles for high mixing ventilation - An experimental analysis in a full scale model room, *Building and Environment*, 46, 547-555, 2011.
- [7] A. Meslem, F. Bode, I. Nastase and O. Martin, Optimization of lobed perforated panel diffuser: numerical study of orifice geometry, *Modern Applied Science*, 6(12), 59, 2012.
- [8] A. Bennia, L. Loukarfi, M. Braikia, A. Khelil and H. Naji, Etude expérimentale d'un jet turbulent à diffuseur muni de lobes : Application au confort dans les locaux à usage d'habitation, *Revue Nature & Technologie. A- Sciences fondamentales et Engineering*, 13, 54-58, 2015.
- [9] A. Bennia, L. Loukarfi, A. Khelil, M. Braikia, S. Rahal and Y. Bouhamidi, Jet turbulent à diffuseur muni de lobes : Application au confort dans les locaux à usage d'habitation, *Revue Nature & Technologie. C- Sciences de l'Environnement*, 13, 34-38, 2015.
- [10] A. Bennia, L. Loukarfi, A. Khelil, S. Mohamadi, M. Braikia and H. Naji, Contribution to the experimental and numerical dynamic study of a turbulent jet issued from lobed diffuser, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 9 (6), 2016.