

Contribution à l'étude expérimentale d'un jet élevé incliné d'un mélange hélium-air dans un écoulement transversal

B. Chouchen^{#1}, S. Habli^{#2}, Ph. Bournot^{#3}

¹ LGM, École Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir, Tunisie

E-mail: bilelchouchen06@gmail.com

² LGM, Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieur de Monastir, Université de Monastir, Tunisie

sabra.habli@fsm.rnu.tn

nejla.mahjoub@fsm.rnu.tn

³ IUSTI, UMR CNRS 7343, Technopôle de Château-Gombert, Marseille, France

E-mail: philippe.bournot@univ-amu.fr

Abstract— cette étude expérimentale est une contribution à l'amélioration des connaissances des comportements dynamiques de l'écoulement généré par l'interaction d'un jet élevé incliné d'un mélange hélium-air et un écoulement transversal en considérant différents rapports de quantités de mouvements du jet par rapport à celle de l'écoulement extérieur et pour différentes compositions de mélange du gaz éjecté à la sortie du jet. En effet, Les phénomènes turbulents produits par ce type d'écoulement sont d'une grande pertinence pratique. Pour cela, des séries d'expériences utilisant la technique de mesure PIV (Vélocimétrie par Images de Particules) sont menées en soufflerie.

Keywords— Jet/ mélange / écoulement transversal / PIV/

I. INTRODUCTION

A cause de leur capacité à mélanger efficacement deux courants fluides et de ses applications potentielles, de nombreuses études expérimentales et théoriques ont porté sur le problème du jet dans un écoulement transversal, on peut citer : l'injection des carburants dans les chambres de combustion (moteur diesel, moteur fusée...), la dispersion des fumées des cheminées d'usines ou des bateaux etc. Le processus de mélange dépend de plusieurs paramètres : géométriques tels que la forme de la buse d'injection, leur hauteur, leur inclinaison, leur élévation (Smith et al. [1]) ou dynamiques tels que le rapport de vitesse de jet et celle de l'écoulement ambiant, le rapport de quantité de mouvement (Moussa et al. [2]; Mahjoub et al. [3]); massiques ou thermiques tels que le gradient de concentration ou le gradient de température entre le jet et l'écoulement ambiant (Pagé et al. [4]). Les phénomènes turbulents produits par ce type d'écoulement sont d'une grande pertinence pratique. En effet, au cours de l'interaction d'un jet élevé incliné avec un écoulement transversal, il se produit un champ d'écoulement résultant complexe. Cette complexité est illustrée par l'abondance et la diversité du système tourbillonnaire qui se développe en amont et en aval du jet. Quatre principales structures sont citées dans la littérature : Les tourbillons de

sillages, les tourbillons de la couche de cisaillement, les tourbillons en fer à cheval et la paire de tourbillons contrarotatifs. Plusieurs études particulièrement ont cherché aussi à identifier ces tourbillons (Fric et Roshko [5], Andreopoulos [6]). Dès lors, l'étude proposée consiste à analyser expérimentalement, en utilisant la technique de mesure : Vélocimétrie laser par Images de Particules (PIV), les mécanismes physiques gouvernant le développement et la structure d'un jet élevé incliné éjectant un mélange hélium-air dans un écoulement transversal. L'objectif consiste à examiner l'effet de la composition de mélange (air -hélium) du gaz éjecté à la sortie du jet sur les différentes caractéristiques dynamiques et turbulentes de l'écoulement résultant.

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La figure 1, présente un schéma global du dispositif expérimental. En effet, Lors de l'expérimentation, nous avons considéré un jet élevé incliné émis à partir d'une conduite de section circulaire de diamètre $d = 10$ mm, de hauteur h , d'inclinaison 60° par rapport à l'horizontal et de vitesse (v_j) éjectant un mélange hélium-air. Par ailleurs, les mesures expérimentales ont été faites pour une vitesse d'éjection (v_j) et une vitesse de l'écoulement transversal constantes (u_∞) ($v_j = 8.96$ m/set $u_\infty = 9$ m/s). Quant au mélange éjecté par la buse circulaire trois compositions de mélange éjecté par une buse de section circulaire ont été utilisées: (75% hélium- 25% air), (50% hélium- 50% air) et (25% hélium-75% air). Les mesures ont été réalisées par la technique de mesure PIV qui nous permet de fournir des cartographies de vitesses instantanées dans le plan d'écoulement et des mesures globales du champ instantané de vitesse. Afin de procéder à la visualisation, il faut injecter dans l'écoulement de mélange air- hélium des traceurs qui sont, dans le cas présent, des microparticules de chlorure d'ammonium. Une source laser servant à éclairer le champ d'écoulement et pour enregistrer les images instantanées on utilise une caméra CCD. Une fois capturées les images sont traitées par le logiciel INSIGHT permet par la

suite d'afficher les champs des vecteurs vitesse en deux dimensions ainsi que les photos correspondantes de l'écoulement. Enfin, l'utilisation du logiciel TECPLOT nous permet de traiter plusieurs grandeurs instantanées ou moyennées (vitesses horizontales ou verticale, vorticité, intensité de turbulence ...)

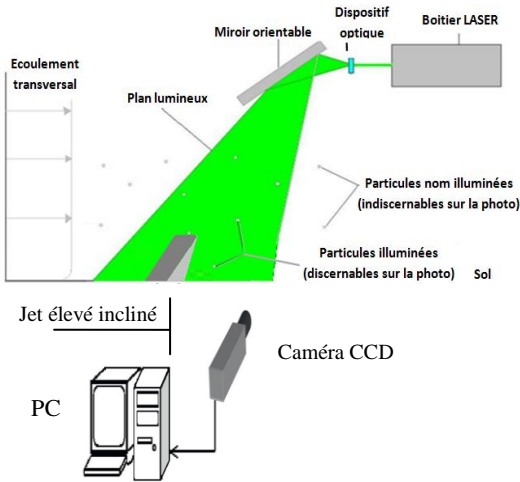


Fig. 1 Dispositif expérimental

III. RESULTATS ET DISCUSSION

1- Effet du rapport de quantité de mouvement sur la structure globale de l'écoulement

La figure 2, présente trois images capturées par une caméra CCD, cette technique nous permet une meilleure visualisation de l'évolution des structures tourbillonnaires résultant de l'interaction d'un jet élevé incliné éjectant un mélange (air-hélium) dont la densité de mélange est variable selon le cas étudié. En fait, nous avons considéré que les vitesses sont maintenues constantes $u_\infty = 9$ m/s et $v_j = 8.96$ m/s et que l'écoulement transversal est homogène et composé purement d'air.

Tout d'abord, dans la première image (figure 2.a) nous présentons les différentes structures tourbillonnaires pour un rapport de quantité de mouvement $R_m = 0.76$ ($R_m = \rho_j v_j^2 / \rho_\infty u_\infty^2$, où ρ_j est la masse volumique de mélange de jet est ρ_∞ est la masse volumique de l'écoulement transversal). Dans ce cas, nous avons considéré un mélange de composition (75% air-25% hélium). Cette figure montre que la trajectoire de l'écoulement de jet a subi une variation brusque de direction dès la sortie de la buse d'injection. Cette déviation est bien justifiée par l'effet de cisaillement de jet avec l'écoulement transversal qui donne naissance dans ce cas à une succession de tourbillons dites les tourbillons de la couche de cisaillement ou les instabilités de kelvin – Helmholtz. L'enroulement de ces structures se fait dans un sens ou dans l'autre sous forme de champignon, comme nous indique la partie zoomée, à cause de la forte densité entre ces deux fluides. Pour ce rapport élevé de quantité de mouvement on constate également, que le cisaillement se propage sur une large couche suivant la direction longitudinale x.

Ensuite, la deuxième image (figure 2.b) est représentée pour un rapport de quantité de mouvement $R_m = 0.55$, inférieure au cas précédent. Dans ce cas, l'écoulement résultant est dû à l'interaction entre un jet élevé incliné émettant un mélange (50 % air 50 % hélium) et un écoulement transversal d'air. Nous remarquons, la présence des tourbillons de cisaillement, comme dans le cas précédent. Par ailleurs, l'enroulement de ces structures se fait dans le sens horaire ce qui met en évidence un entrainement très important de l'écoulement de jet par l'écoulement transversal. Enfin, la troisième image (figure 2.c) correspond au faible rapport d'injection $R_m = 0.34$ d'un jet éjectant un mélange de composition (25% air et 75% hélium). Dans ce cas le processus d'entrainement est très rapide. Cependant, l'écoulement issu de jet n'a pas le temps d'être entraîné par l'écoulement transversal d'air. En effet, la couche de cisaillement, contenant moins de structures tourbillonnaires que les autres cas, sa rotation se fait seulement dans le sens horaire et sa variation se fait sur une courte distance dans la direction longitudinale x. En revanche, cet affaiblissement des tourbillons pour ce cas de mélange éjecté par la cheminée nous indique une bonne diffusion de l'écoulement éjecté par la cheminée dans celui transversal sur une zone très proche de la buse d'injection.

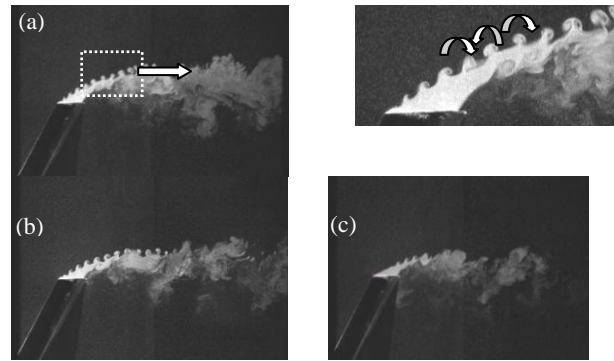


Fig. 2 Structures tourbillonnaires prélevées expérimentalement:
(a) $R_m = 0.76$ (75% air-25% hélium), (b) $R_m = 0.55$ (50% air- 50% hélium),
(c) $R_m = 0.34$ (25% air et 75% hélium)

2- Effet du rapport de quantité de mouvement sur l'écoulement moyen

Sur la figure 3, nous avons tracé les différents profils de la composante longitudinale de la vitesse u adimensionnée par la vitesse de jet v_j , pour différentes positions longitudinales x adimensionnées par le diamètre de jet d et pour différents rapports de quantité de mouvement ($R_m = 0.76, 0.55, 0.34$). Pour la première position (figures 3.a), pour $x/d = 1.7$, les trois profils présentent des pics de signes négatifs au voisinage de la sortie de la buse d'injection dans la région $(-0.5 < y/d < 0.5)$. Ceci traduit l'existence de la zone de recirculation qui engendre une faible vitesse pour $R_m = 0.34$. L'amplitude de ces pics diminue et cette diminution est plus prononcée pour le jet émis à faible densité. Ce ralentissement de vitesse génère un fort sillage et donc un meilleur mélange entre le jet et

l'écoulement transverse. En s'éloignant un peu plus, pour $x/d = 3.7$ (figure 3.b), ces pics changent de signe et deviennent positifs indiquant la fin de la zone de recirculation.

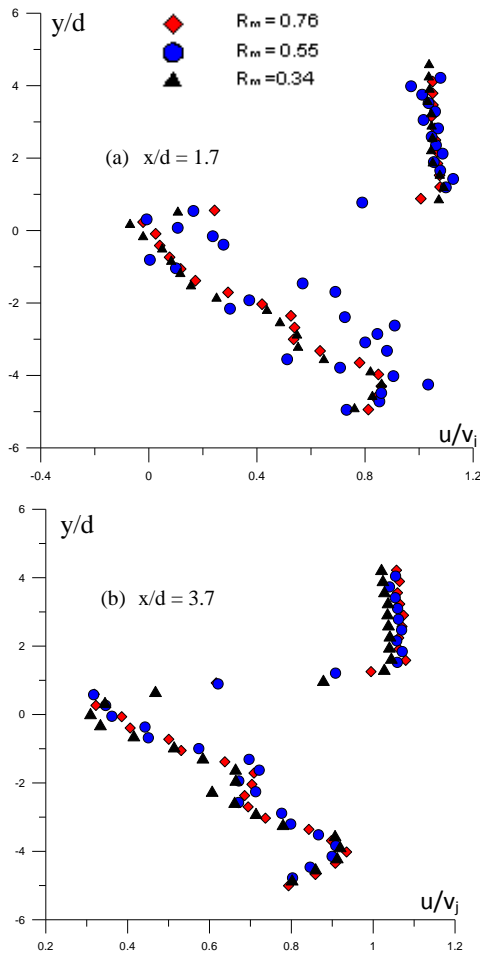


Fig. 3 Distributions verticales de la vitesse longitudinale adimensionnée u/v_j pour différents rapports de quantité de mouvement.

3-Effet du rapport de quantité de mouvement sur l'écoulement turbulent

La Figure 4 présente les distributions verticales des fluctuations turbulentes de la composante longitudinale adimensionnée par le carré de la vitesse du jet à la sortie v_j pour différents rapports de quantité de mouvement. Ces profils montrent que les pics les plus marqués et les plus distincts de la composante longitudinale adimensionnée $\overline{u''u''}/v_j^2$ ont lieu au sein de la buse d'injection. En fait, c'est dans cette région que l'interaction du jet avec l'écoulement transversal commence. Nous notons, ainsi, un dédoublement des pics atteints pour $y/d = 1$ et $y/d = -3$. Ces deux pics se manifestent dans les couches de cisaillement inférieure et supérieure qui sont bien amplifiées pour un mélange de forte densité en se développant dans une large distance en aval de la sortie du jet. L'augmentation du rapport de quantité de mouvement crée une forte tension au sein de l'écoulement résultant.

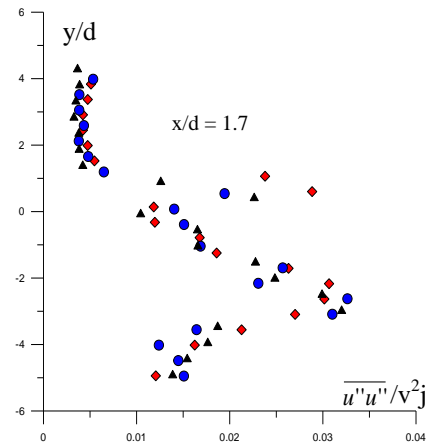


Fig. 4 Distributions verticales de la tension de Reynolds longitudinale pour différents rapports de quantité de mouvement

IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude expérimentale afin de reproduire l'interaction de type jet élevé incliné d'un mélange hélium-air et un écoulement transversal. Notre étude porte essentiellement sur l'analyse de certaines grandeurs caractéristiques et leur influence sur le développement dynamique du jet. Le paramètre retenu est le rapport de quantité de mouvement du jet par rapport à celle de l'écoulement extérieur. La technique expérimentale utilisée est la technique de mesure non-intrusive vélocimétrie laser par images de particules (PIV). D'après ces mesures nous avons remarqué à partir de cette étude, l'apparition des instabilités de Kelvin-Helmholtz lors de l'interaction entre les deux écoulements. Ce phénomène est surtout visible sur la frontière supérieure de jet élevé. Ainsi, nous nous sommes intéressés à l'effet de la variation de la composition de mélange de jet sur l'écoulement résultant de l'interaction d'un jet élevé incliné de 60° avec l'écoulement transverse d'air. Nous avons montré que lorsque le rapport de quantité de mouvement est faible c'est-à-dire pour le cas de mélange de faible densité, la pénétration de jet est plus importante et les fluctuations de vitesse sont plus intenses qu'un mélange de gaz plus lourd. En conclusion, la plupart de nos résultats s'accordent sur un effet global significatif sur la variation de la composition de mélange: plus le mélange éjecté est léger meilleure est sa diffusion.

REFERENCES

- [1] S.H Smith, M.G Mungal, Mixing structure and scaling of the jet in cross flow, J. Fluid Mech, vol.375, pp. 83-122, 1998.
- [2] Z.M., Moussa, J.W., Trishka, S., Eskinazi, The near field in the mixing of a round jet with a cross-stream. Journal of fluid Mechanics vol.80, pp. 49-80, 1977.
- [3] N., Mahjoub said, H., Mhiri, G.Le Palec, , and Ph., Bournot, Experimental and numerical analysis of pollutant dispersion from a chimney. Atmospheric Environment, vol .39, pp. 1189-1206.2007.
- [4] J. Pagé., Contribution à l'étude des jets Turbulents axisymétriques à masse Volumique variable. Thèse. Université d'ORLEANS. 1998
- [5] T. F., Fric, Roshko., Vortical structures in the wake of a transverse jet . Journal of Fluid Mechanics, vol.279, p. 1-47.1994
- [6] J., W., Andreopoulos, Experimental investigation of jets in a cross flow. Journal of Fluids Mechanics, vol. 138, pp.770-775, 2001.