



HAL
open science

Etude expérimentale par Tomographie Laser et Images de Particules de l'évolution de l'intensité tourbillonnaire d'un jet impactant en fonction de la nature de la plaque heurtée

Tarek Mrach, Jana Hamdi, Kamel Abed-Meraïm, Marwan Alkheir, Anas Sakout

► To cite this version:

Tarek Mrach, Jana Hamdi, Kamel Abed-Meraïm, Marwan Alkheir, Anas Sakout. Etude expérimentale par Tomographie Laser et Images de Particules de l'évolution de l'intensité tourbillonnaire d'un jet impactant en fonction de la nature de la plaque heurtée. 16ème Congrès Francophone de Techniques Laser pour la mécanique des fluides, CNRS, CentraleSupélec, Université Paris Saclay, IRSN, Sep 2018, Dourdan, France. hal-02097806

HAL Id: hal-02097806

<https://hal.science/hal-02097806>

Submitted on 12 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude expérimentale par Tomographie Laser et Images de Particules de l'évolution de l'intensité tourbillonnaire d'un jet impactant en fonction de la nature de la plaque heurtée

Tarek MRACH, Jana HAMDY, Kamel ABED-MERAÏM, Marwan ALKHEIR, Anas SAKOUT

Laboratoire des sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE), Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, pole Sciences et Technologies, 17000 La Rochelle, France.

Email auteur correspondant : tarek.mrach@univ-lr.fr

Dans cette étude expérimentale, on s'intéresse à l'écoulement généré par un jet plan impactant différentes plaques. Pour analyser ces écoulements et comparer les évolutions des différents paramètres (vitesses, taux de turbulence, structures tourbillonnaires,) on a utilisé la technique PIV. Par exemple, pour un rapport de confinement de 4 et un nombre de Reynolds de 4838, on présente une comparaison entre les écoulements déviés pour chaque des 3 plaques considérées dans cette étude. Pour la plaque lisse fendue, on remarque que les grosses structures créées par le cisaillement entre le jet et la zone d'entraînement sont convectées et s'organisent différemment en fonction de la dynamique initiale de l'écoulement (Re). En effet, selon les configurations, ces grosses structures sont soit déviées latéralement dans l'écoulement pariétal soit passent alternativement à travers la fente. En ce qui concerne les plaques pleines, les structures de Kelvin Helmholtz sont toujours déviées, l'écoulement pariétal se trouve plus nourris mais sa dynamique tourbillonnaire est influencée par l'état de surface. En effet, pour la plaque pleine lisse on a de grosses structures tourbillonnaires alors que pour la plaque corruguée, on constate l'apparition de petites structures tourbillonnaires vives et intenses. Une analyse quantitative de ces phénomènes est menée afin d'étudier et de comparer les écoulements pariétaux. Cette analyse est basée sur les champs cinématiques instantanés obtenus par PIV pour chaque configuration. On utilise le critère λ_2 pour caractériser et suivre les structures tourbillonnaires. On va aussi, analyser les profils de vitesses dans les écoulements pariétaux et étudier la fréquence et l'intensité des structures tourbillonnaires présentes. Avec la décomposition de Reynolds nous comparons aussi les taux de turbulence.

1 Introduction

Les jets impactants sont très utilisés dans de nombreuses applications industrielles et domestiques. Ainsi, on les utilise aussi bien en refroidissement ou en séchage dans l'industrie, que pour le mélange et l'homogénéisation dans les unités terminales des systèmes de traitement et de renouvellement d'air dans le transport ou le bâtiment. De ce fait, en complément de l'analyse de leurs capacités de transfert thermique (flux, températures, ...) [3]. On a entrepris cette étude pour comprendre l'influence de la nature de la plaque heurtée par le jet sur la dynamique tourbillonnaire de l'écoulement pariétal dévié [1, 2]. Dans le cadre de cette étude, on a considéré trois plaques heurtées par le même jet : une plaque pleine et lisse, une plaque fendue et une plaque pleine corruguée. Notre étude se situe dans ce contexte et concerne les interactions entre les structures tourbillonnaires générées par l'écoulement du jet et la nature des plaques. On utilise le critère λ_2 pour caractériser et suivre ces structures. Cette étude peut être réalisée grâce à une plate-forme expérimentale utilisant une métrologie spécifique intégrant de la tomographie laser et de la vélocimétrie par images de particules résolue en temps (TR-PIV).

2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est représenté sur la figure 1. Un compresseur (1) crée un flux d'air. Il se trouve à l'extérieur de l'enceinte, et il est commandé par un hacheur de fréquence (2), on peut contrôler la fréquence du moteur à l'aide de ce hacheur afin de réguler la vitesse de soufflage. Les flux d'air générés traversent une chambre d'amortissement (3) de 1 m^3 , puis un tube (4) de 1250 mm de longueur et de section rectangulaire ($190 \times 90\text{ mm}^2$), qui contient un nid d'abeilles, et prolongé par un convergent (5). Ce convergent débute par une section rectangulaire de $190 \times 90\text{ mm}^2$ et se termine par une section rectangulaire de $190 \times 10\text{ mm}^2$. Ainsi, le jet généré est plan et de même section. Le jet ainsi créé débouche dans la salle d'expérimentation et heurte la plaque expérimentée. La première plaque est lisse et fendue. Les dimensions de la fente sont identiques aux dimensions de la buse de soufflage (figure 2a). La deuxième plaque est pleine et lisse (figure 2b), la troisième plaque est pleine et corruguée (figure 2c). Le confinement de cet écoulement impactant est paramétré par le rapport adimensionnel L/H où L est la distance

séparant la buse de la plaque heurtée et H la hauteur du jet plan (figure 1-b). Le dispositif PIV utilisé comporte une caméra Phantom Speed Sense V711 (capteur de 1280×800 pixels et de fréquence 7,4 kHz à 1 Megapixels), d'un laser Nd:YLF LDY300 Litron, avec une longueur d'onde de 527 nm et une énergie de 30 mJ par pulse à 1kHz et d'un bras laser de 1800 mm. L'ensemencement de l'écoulement est réalisé grâce à un générateur de particules (particule d'huile d'olive de dimension $1 \mu\text{m}$). La synchronisation entre le laser et la caméra est commandée par un système de LaVision avec le logiciel Davis 8.3.

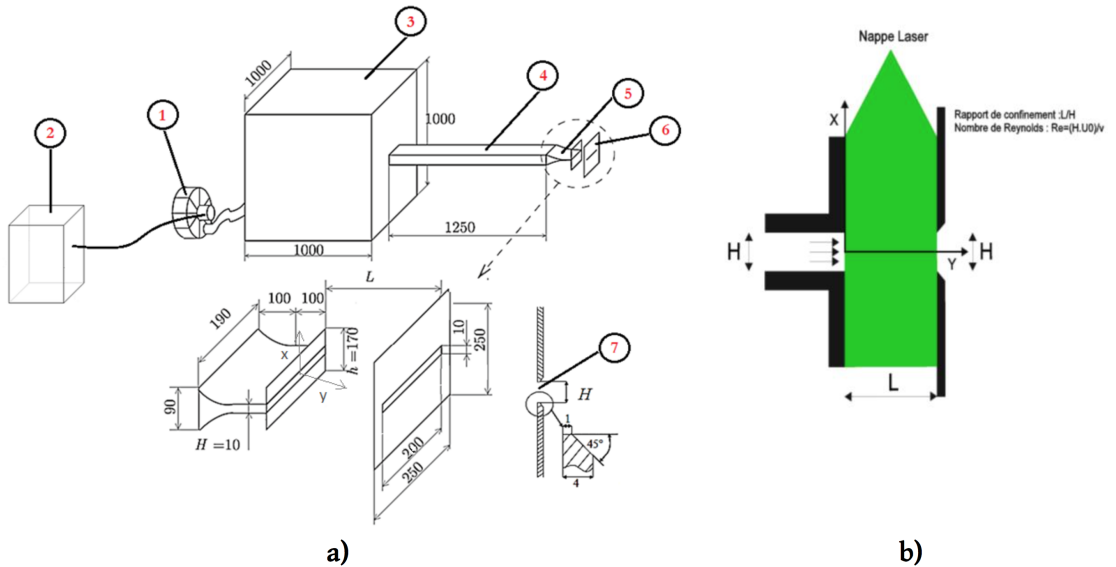


Figure 1: a) dispositif expérimental b) rapport de confinement.

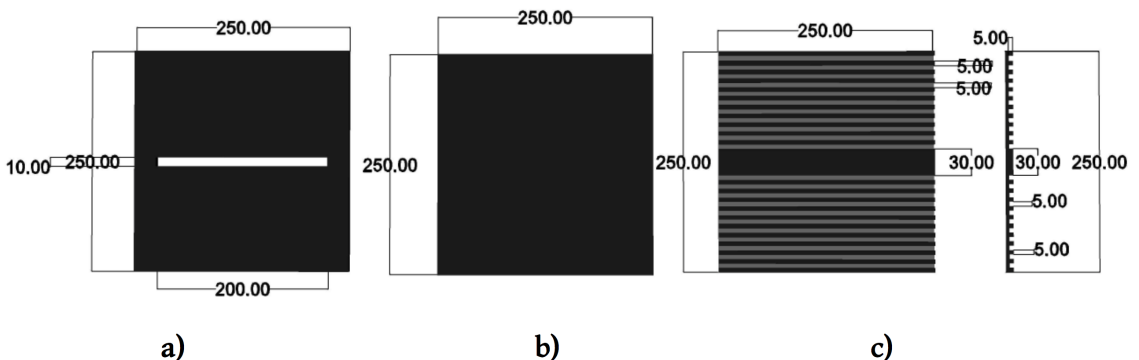


Figure 2: a) plaque fendue, b) plaque pleine et lisse, c) plaque pleine et corruguée, (côtes en mm).

3 Résultats

Dans cette étude les acquisitions ont été réalisées avec une fréquence de 1 kHz. Les champs des vitesses moyennes sont obtenus en moyennant dans le temps les 1000 champs cinématiques instantanées. Les profils des vitesses moyennes sont représentés pour plusieurs positions de y/H tout au long de l'axe du jet jusqu'à se rapprocher des plaques. Pour pouvoir rendre les vitesses étudiées adimensionnelles il était nécessaire de les diviser par une vitesse de référence. Nous avons choisi comme vitesse de référence la vitesse de soufflage. On a tracé les profils transversaux de la vitesse longitudinale. On remarque que le profil de cette composante pour toutes les positions y/H sont similaires. La figure 3

montre que la vitesse longitudinale sur l'axe du jet est plus importante proche de la plaque fendue. En effet, cette plaque présente un écoulement avec un cône potentiel plus long et donc un profil différent dès lors qu'on se trouve proche de la plaque heurtée. Dans les cas de plaques pleine et corruguée, la vitesse décroît progressivement jusqu'à l'extérieur de la zone de mélange. On remarque que le cône potentiel dans les cas de plaque pleine et lisse et de plaque corruguée sont plus courts que le cône potentiel de la plaque fendue par exemple à $y/H=3.5$, la vitesse moyenne est plus basse pour les plaques pleines que pour la plaque fendue (figure 6). De plus, plus on s'éloigne de la sortie du jet plus le profil de cette vitesse s'élargit pour les 3 plaques (figure 3). Sur la figure 4, on a représenté les profils des

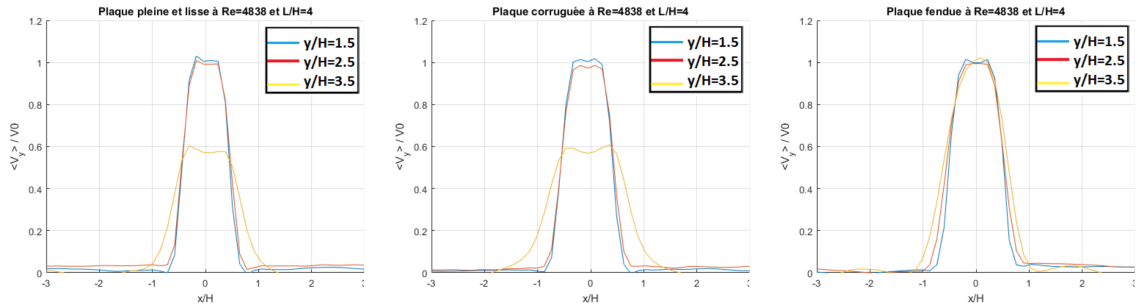


Figure 3: Profils transversaux de la vitesse longitudinale moyenne normalisés pour les 3 plaques à plusieurs positions de y et $Re=4838$.

vitesse longitudinale moyenne en fonction du nombre de Reynolds. Ainsi, pour chaque plaque on a expérimenté plusieurs nombres de Reynolds ($Re=4838$, $Re=6546$, $Re=9043$), à position fixe entre le buse et les plaques $L/H = 4$, les profils représentés sur cette figure ont été pris à $y/H = 2, 5$. On trouve que la vitesse maximale augmente avec l'augmentation de nombre de Reynolds et normalement la forme du profil de vitesse dans le cas des plaques lisse et corruguée sont les mêmes. Les taux de turbulence

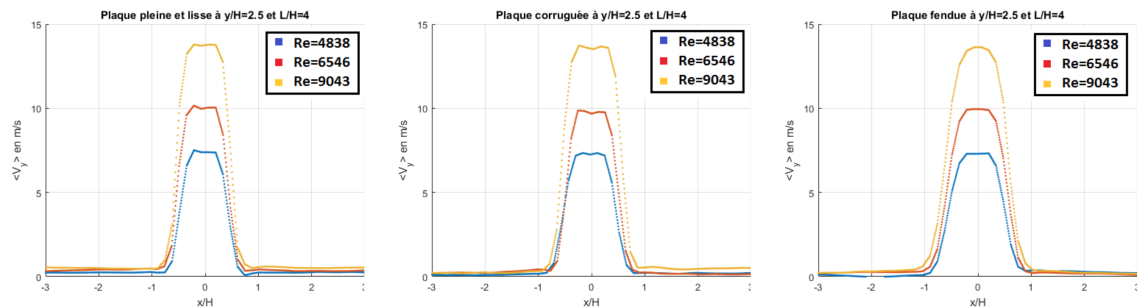


Figure 4: Profils transversaux de la vitesse longitudinale moyenne pour les 3 plaques étudiées à plusieurs nombre de Reynolds et $y/H = 2, 5$.

sont les moyennes quadratiques normalisées des fluctuations transversales et longitudinales. On les note $\|V'_x\|$ et $\|V'_y\|$. Notons que $V'_x = V_x - \langle V_x \rangle$ représente la fluctuation de la vitesse transversale et $V'_y = V_y - \langle V_y \rangle$ représente la fluctuation de la vitesse longitudinale. Une étude plus généralisée sur les taux de turbulence est analysée par l'évolution des champs moyens de turbulence. Le champ de turbulence normalisé est défini par: $\frac{\sqrt{\|V'_x\|^2 + \|V'_y\|^2}}{v_0}$ en tout point. Pour les différentes plaques heurtées, les taux de turbulence dans le jet augmentent avec y/H . Ces évolutions sont comparables pour les plaques pleines (lisse et corruguée). Alors que pour la plaque fendue dès qu'on se rapproche de la fente. Les taux de turbulence augmentent fortement sur les bords. En effet, pour cette plaque les structures tourbillonnaires viennent heurter les bords de la fente et se cassent en plusieurs morceaux d'où cette augmentation du taux de turbulence. Sur la figure 6, on représente la décroissance de la vitesse axiale moyenne normalisée du jet. Elle est définie aux différentes positions de y pour $x = 0$. On constate un comportement similaire pour les plaques pleines lisse et corruguée alors que, pour la plaque fendue, le cône potentiel étant plus long la décroissance est plus tardive. Après avoir caractérisé le jet, on s'est intéressé aux structures tourbillonnaires générées. La figure 7 montre d'une part un exemple

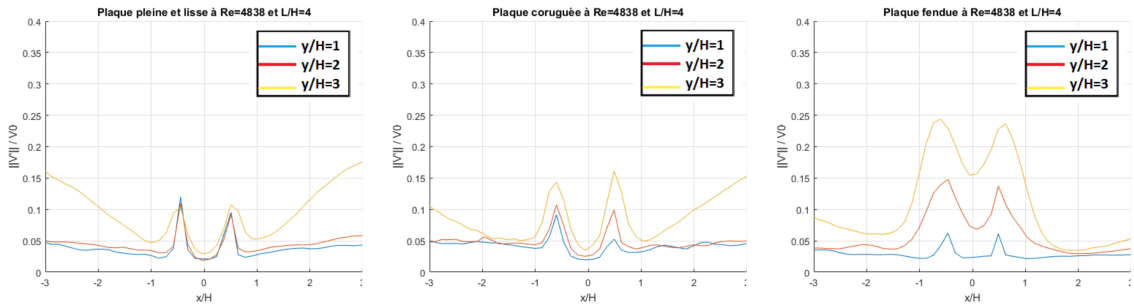


Figure 5: Profils transversaux des taux de turbulence normalisés pour les 3 plaques étudiées à différents y/H .

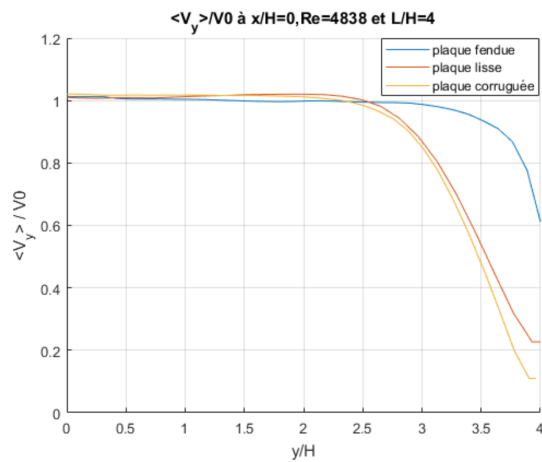


Figure 6: Vitesse axiale normalisée pour les 3 plaques.

de champs particulaires bruts et d'autre part les champs de vitesses instantanées après calculs PIV. Visuellement, on s'aperçoit qu'on a des structures tourbillonnaires qui s'organisent différemment selon la plaque heurtée. Pour la plaque corruguée (b), elles sont petites et proches de la plaque, pour la plaque lisse (a), elles sont plus grosses et s'écartent de la plaque, alors que pour la plaque fendue (c), elles viennent heurter le bord, se cassent et finissent en plus petites pièces. A partir de ce constat, on a décidé

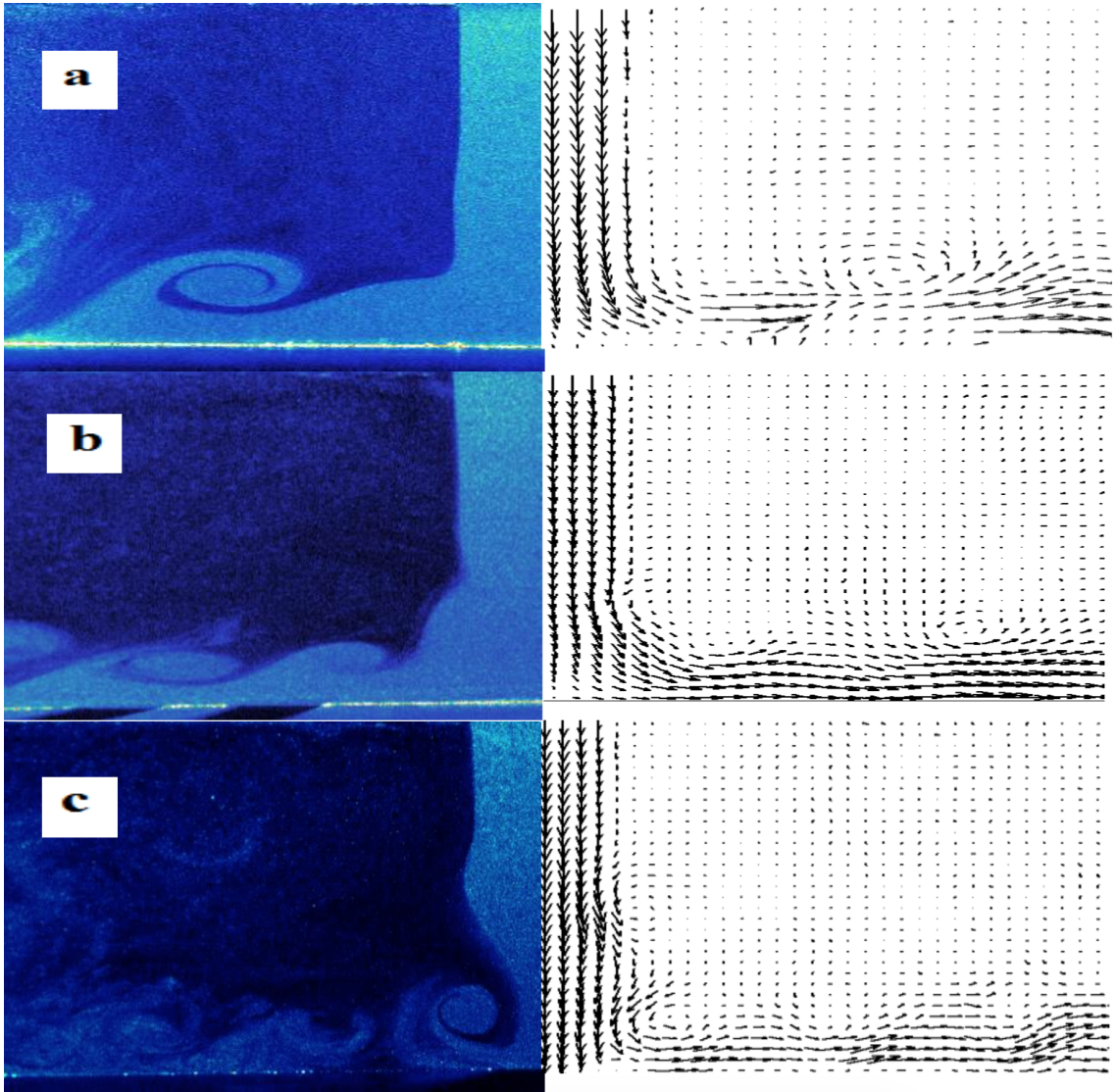


Figure 7: Les champs particulaires bruts à gauche et leurs correspondants en champs de vecteurs vitesse à droite : (a) : plaque pleine et lisse, (b) : plaque pleine et corruguée, (c) : plaque fendue.

de détecter et de le suivre les structures tourbillonnaires dans chaque configuration. Pour cela on a utilisé le critère λ_2 . En effet, pour appréhender la dynamique tourbillonnaire, on utilise le critère λ_2 qui détecte bien les centres des tourbillons et nous permet de suivre les structures tourbillonnaires (figure 8). Le critère λ_2 proposé par Hussain [5] consiste à chercher les valeurs propres du tenseur $S_2 + \Omega_2$ où S et Ω sont les parties symétrique et antisymétrique du tenseur gradient de vitesse. Les zones à valeurs propres négatives ($\lambda_2 < 0$) correspondent à des régions à pression minimale locale due au mouvement tourbillonnaire. Le centre du tourbillon est identifié par l'extremum de la fonction λ_2 . En 2D, on peut montrer que [5]:

$$\lambda_2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

Et comme le critère λ_2 permet de trouver les structures tourbillonnaires à un instant donné, on peut

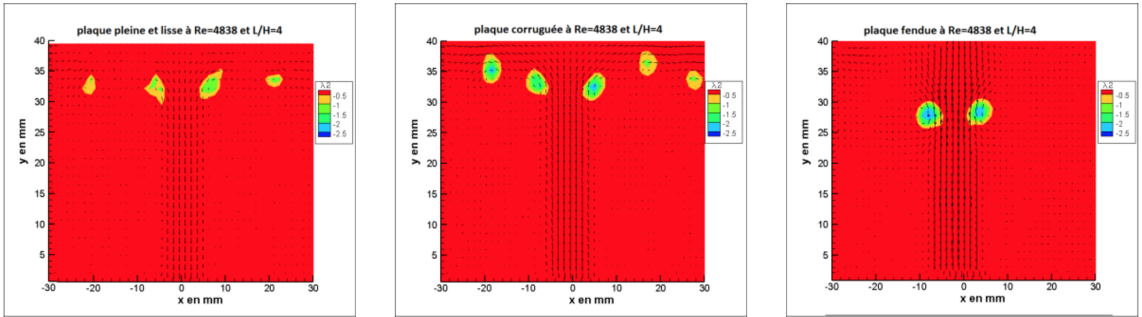


Figure 8: Structures tourbillonnaires avec le critère λ_2 pour les 3 plaques.

donc les trouver à tous les instants et ainsi réaliser du suivi temporel (voir figure 9). Pour visualiser la dynamique tourbillonnaire de l'écoulement, on étudie les trajectoires des tourbillons qui viennent heurter ces plaques. Les mesures sont faites avec une fréquence d'échantillonnage de 1 kHz, d'où 1000 couplets d'images sont utilisés. En appliquant le critère λ_2 sur 20 champs instantanés (pour voir les trajectoires plus claires), on obtient la localisation des tourbillons pour chaque instant (voir figure 10). Pour dessiner les trajectoires des tourbillons de la sortie du convergent jusqu' à la plaque dans le temps, les champs de critère λ_2 instantanés sont superposés. On suit un seul tourbillon pour chaque plaque (voir figure 10). Et on dessine la position de ce tourbillon à 5 instants successifs (t_1, \dots, t_5), afin d'avoir une idée de la trajectoire de tourbillons comme visualisé sur la figure 10. Afin de comparer

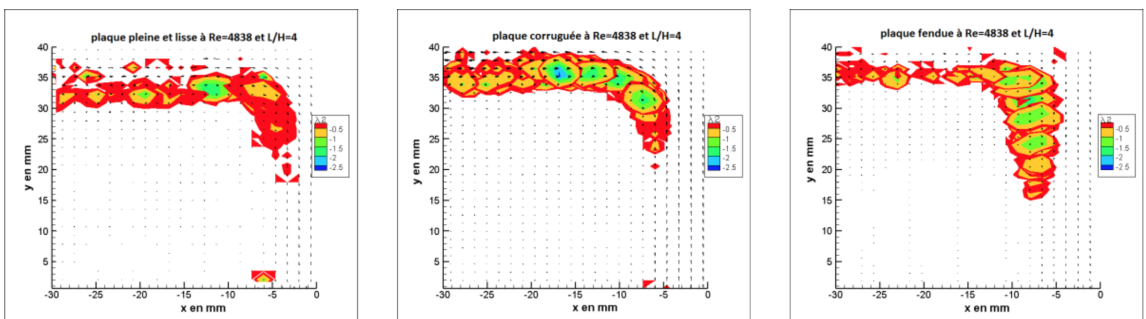


Figure 9: Trajectoire des tourbillons pour les 3 plaques.

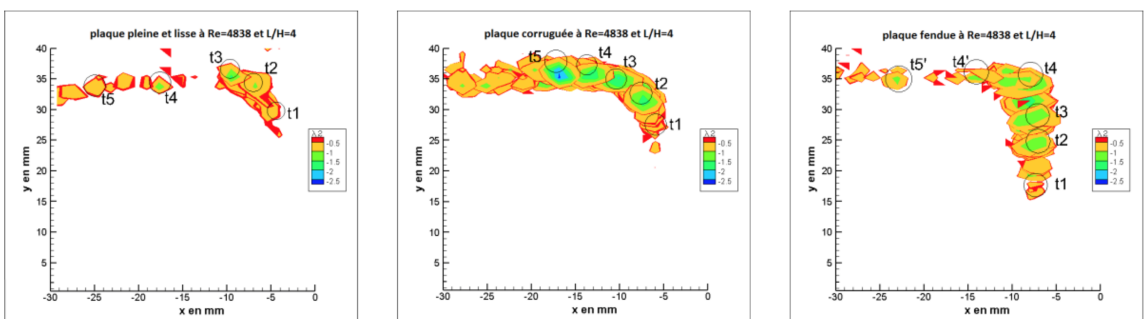


Figure 10: Trajectoire d'un tourbillon pour les 3 plaques.

les écoulements pariétaux pour les plaques lisse et corruguée. On s'intéresse à la composante V_x de la vitesse proche de la plaque. Pour la plaque corruguée, on voit que les vecteurs sont bien organisés comme le montre la figure 11a. Les vitesses sont plus faibles proche de la plaque lisse et les structures tourbillonnaires plus grosses en s'éloignant de la plaque (voir la figure 11b). En effet, le profil de la vitesse transversale moyenne $\langle V_x \rangle$ à $x/H = 3,25$ montre que les vitesses transversales sont bien plus

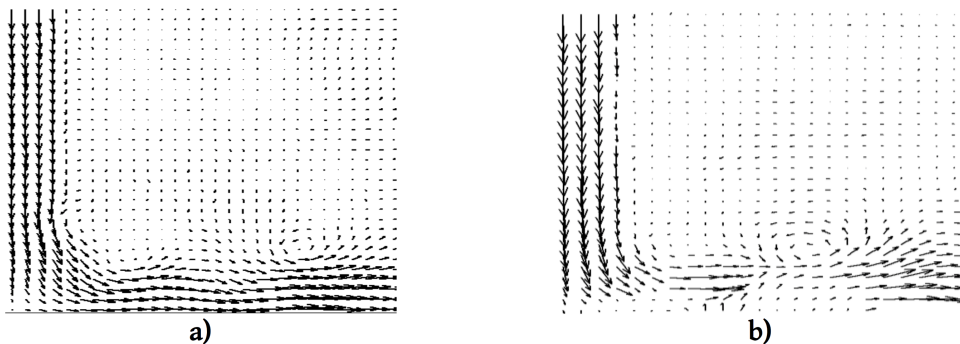
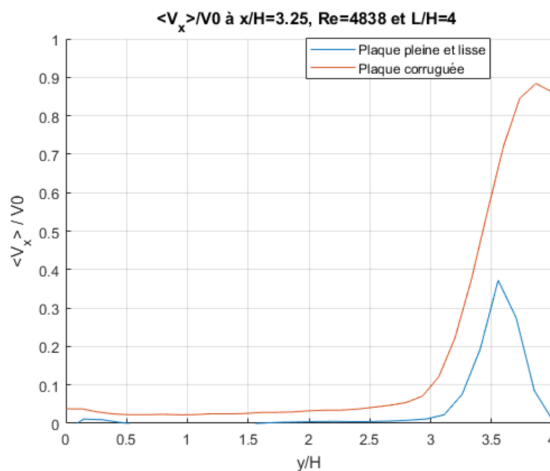


Figure 11: Trajectoire d'un tourbillon pour les 3 plaques.

fortes pour la plaque corruguée que pour la plaque lisse (figure 12). En plus la valeur maximale de cette vitesse transversale est atteinte plus proche de la plaque corruguée ($y/H = 3,8$) que pour la plaque pleine et lisse ($y/H = 3,55$). On étudie aussi les taux de turbulence à différentes positions de

Figure 12: Profils de vitesse moyenne transversale $\langle V_x \rangle$ normalisés en $x/H = 3,25$ et pour les 2 plaques.

x/H , et pour chacune des plaques étudiées (voir figure 13). Quand on s'approche des plaques ($3 \leq y/H \leq 4$), les fluctuations deviennent beaucoup plus importantes à cause de la présence des structures tourbillonnaires pour les plaques pleines lisses et corruguée, les structures tourbillonnaires déviées à cause de l'impact du jet vers l'écoulement pariétal donnent des taux de turbulence entre 10 et 25% avec des maximum autour de $y/H = 3,5$. Alors que pour la plaque fendue, les taux de turbulence ne dépassent pas les 12%. En effet, dans ce cas les structures tourbillonnaires viennent heurter les bords de la fente, sont cassées, une partie est entraînée à travers la fente et il ne reste qu'une toute petite partie qui est entraînée dans l'écoulement pariétal.

4 Conclusion

Cette étude expérimentale comparative a permis la comparaison entre les écoulements générés par des jets turbulents impactants des surfaces différentes à l'aide d'une métrologie Laser: la PIV. Ainsi nous avons pu montrer, expérimentalement, que les structures tourbillonnaires sont petites, intenses et proche de la paroi pour une plaque corruguée, plus grosses et déviées de la paroi pour une plaque lisse et absorbées en partie par la fente pour une plaque fendue. Aussi, les vitesses tangentielles dans l'écoulement pariétal sont plus intenses dans le cas de la plaque corruguée que pour la plaque lisse. Cette étude se poursuit avec d'autres objectifs (influence du confinement, de la géométrie des nervures, ...).

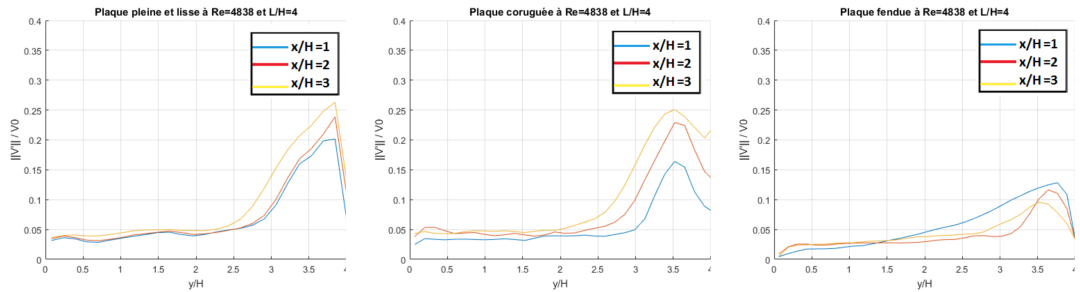


Figure 13: Profils transversaux des taux de turbulence normalisée pour 3 plaques à différents x/H .

References

- [1] J. Hamdi, Reconstruction volumique d'un jet impactant une surface fendue à partir de champs cinématiques obtenus par PIV stéréoscopique, PhD Thesis, Ecole Doctorale SI-MMEA, 2017.
- [2] H. Assoum, Etude expérimentale des couplages entre la dynamique d'un jet qui heurte une plaque fendue et l'émission sonore générée, PhD Thesis, Ecole Doctorale SI-MMEA, 2013.
- [3] B. Sagot, transfert thermique par jet impactant sur plaque plane corruguée, Congrès Français de thermique, île de Embiez France, 2007
- [4] J. Jeong, F. Hussain, Coherent structures near the wall in a turbulent channel flow, Fluid Mechanics, Vol 332, pp. 185- 214, 1997.
- [5] A. Koched, M. Pavageau, F. Aloui, Détection expérimentale de structures tourbillonnaires au sein d'un jet plan en impact, 19ème Congrès Français de Mécanique, Marseille France, 2009.
- [6] J. Hamdi, H. Assoum, K. Abed-Meraïm, A. Sakout, Volume reconstruction of a plane jet impinging on a slotted plate using the phase averaging method, in: Energy Procedia, La Rochelle France, 2016.
- [7] H.H. Assoum, M. El Hassan, K. Abed-Meraïm, R. Martinuzzi, A. Sakout, Experimental analysis of the aero-acoustic coupling in a plane impinging jet on a slotted plate, Fluid Dynamics Research, Vol. 45, no 4, p. 045503, 2013.
- [8] H. H. Assoum, M. El Hassan, J. Hamdi, K. Abed-Meraïm and A. Sakout(2016), Dynamics of a plane impinging jet in the presence of self-sustaining sound : Correlation between the acoustic field and the transverse velocity, ICOME'16, International Conference on Materials & Energy, La Rochelle France, 2016.
- [9] H. H. Assoum, M. El Hassan, K. Abed-Meraïm, et A. Sakout, « The vortex dynamics and the self sustained tones in a plane jet impinging on a slotted plate », Eur. J. Mech. - BFluids, vol. 48, p. 231-235, nov. 2014.