

Analyse, par imagerie particulaire, de l'écoulement pariétal résultant d'un jet impactant une surface ondulée/cannelée

T. MRACH^a, K. ABED-MERAÏM^a, J. HAMDI^a, H. ASSOUM^b, M. ALKHEIR^a, A. SAKOUT^a, S. CAUET^c

- a. Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'environnement (LaSIE), Université de La Rochelle, 17000 La Rochelle, France, tarek.mrach@univ-lr.fr kamel.abed-meraim@univ-lr.fr jana.hamdi@univ-lr.fr marwan.alkheir@univ-lr.fr asakout@univ-lr.fr
- b. Beirut Arab University, Tripoli, Liban, hassan.assoum@gmail.com
- c. Lias-Ensip, Université de Poitiers, 86073 Poitiers, France, sebastien.cauet@univ-poitiers.fr

Résumé :

L'analyse expérimentale présentée dans cet exposé concerne l'écoulement pariétal généré par un jet impactant une surface cannelée. Afin d'étudier cet écoulement pariétal et son développement pour différentes plaques heurtées par un même jet, nous avons conçu un dispositif expérimental capable de générer les écoulements voulus, de régler les confinements souhaités et d'appliquer une métrologie optique, non intrusive, de plein champ : La TR-PIV. En effet, un dispositif de PIV rapide a été spécifiquement développé pour ce type d'écoulement où nous avons besoin de fréquences au delà du KHz. Ainsi, on a étudié les écoulements impactant deux plaques différentes et comparé les évolutions des différents paramètres (vitesses, taux de turbulence, structures tourbillonnaires, ...). On a utilisé un rapport de confinement de 4 et un nombre de Reynolds de 4838. On présente dans cet exposé une comparaison entre les écoulements déviés par chacune des 2 plaques considérées dans cette étude. Pour la plaque lisse on a de grosses structures tourbillonnaires, mais 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.

Abstract :

The experimental analysis presented in this paper concerning the parietal flow generated by a jet impacting a channeled surface. To study this parietal flow and its development for different plates struck by the same jet, we have designed an experimental device capable of generating the desired flows, to regulate the desired confinements and to improve a non-intrusive optical metrology of full field: The TR-PIV. Indeed, a fast PIV device has been developed specifically for this type of flow

where we need frequencies above the KHz. Thus, the flows against two different plates were studied and compared the evolutions of the different parameters (velocities, turbulence rate, vortex structures, etc.) a containment ratio of 4 and a Reynolds number of 4838 were used. This paper presents a comparison between the deviated flows for each of the 2 plates considered in this study. For the smooth solid plate there were large swirling structures, but for the corrugated plate, we have noticed the appearance of small vivid and intense vortex structures. A quantitative analysis of these phenomena is conducted to study and compare parietal flows. This analysis is based on the instant kinematic fields obtained by PIV for each configuration. The criterion λ_2 is used to characterize and follow vortex structures. We will also analyze the velocity profiles of the parietal flows and study the frequency and intensity of the vortex structures present. With Reynolds decomposition we can also compare turbulence rates.

Mots clefs : PIV, Structures tourbillonnaires, Jet turbulent impactant, Métrologie Laser

1 Introduction

On retrouve les jets impactants dans de nombreuses applications industrielles et domestiques. On les utilise aussi bien en refroidissement qu'en séchage dans l'industrie, ainsi 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, ...). On a entrepris cette étude pour comprendre l'influence de la géométrie de la plaque heurtée par le jet sur la dynamique tourbillonnaire de l'écoulement pariétal dévié. Dans le cadre de cette étude, on a considéré deux plaques d'états de surface différents heurtées par le même jet : une plaque lisse (figure 2.a) et une plaque corruguée (figure 2.b) [1].

Une plate-forme expérimentale, développée spécifiquement pour ce type d'écoulements a été utilisée pour cette étude. Elle génère les écoulements voulus, elle permet le positionnement des différentes plaques avec les confinements souhaités et met en œuvre une métrologie de plein champ à haute cadence : la TR-PIV pour appréhender les champs cinématiques instantanés nécessaires pour les différentes analyses.

Ainsi, pour analyser les différentes interactions entre la nature des plaques utilisées et les structures tourbillonnaires générées et entraînées, nous avons utilisé le critère λ_2 pour les caractériser, les suivre et tracer leurs trajectoires [2][3][4].

2 Dispositif expérimental

La plate-forme expérimentale utilisée pour cette étude est représentée 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 fréquences (2). On contrôle la fréquence du moteur à l'aide de ce hacheur de fréquences afin de réguler la vitesse de soufflage et ajuster les nombres de Reynolds. 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 à un rapport de forme de 1/9. Il 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 de hauteur 10 mm

et de même section. Le jet ainsi créé débouche dans la salle d'expérimentation et heurte la plaque expérimentée. La première plaque est pleine et lisse (figure 2-a), la deuxième plaque est pleine et corruguée (figure 2-b). 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 munie d'un capteur de 1280×800 pixels à une fréquence de 7,4 KHz, d'un laser Nd : YLF LDY300 Litron à deux têtes 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.

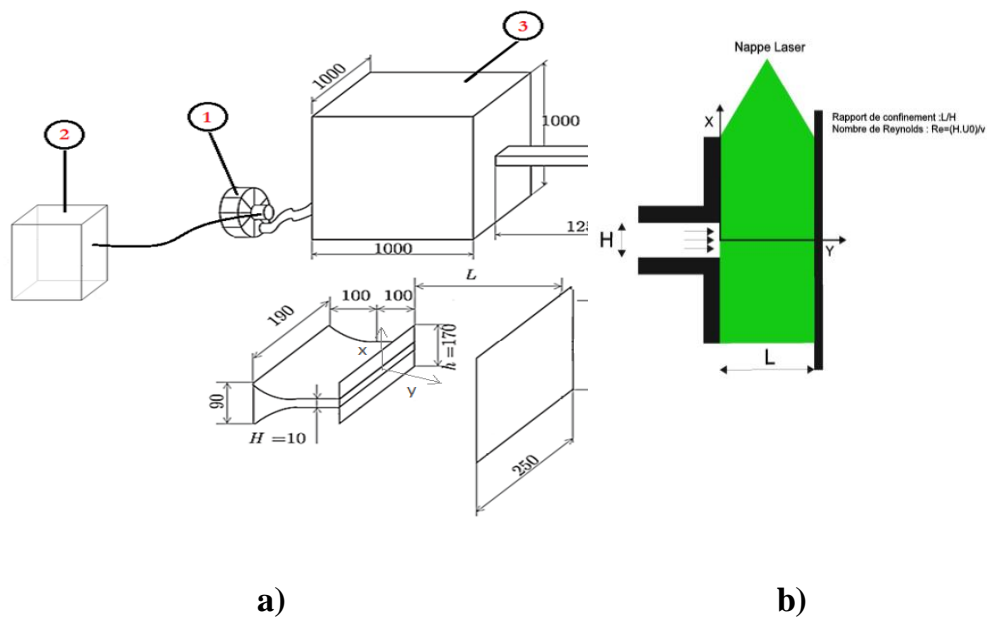


Figure 1 : a) dispositif expérimental b) rapport de confinement

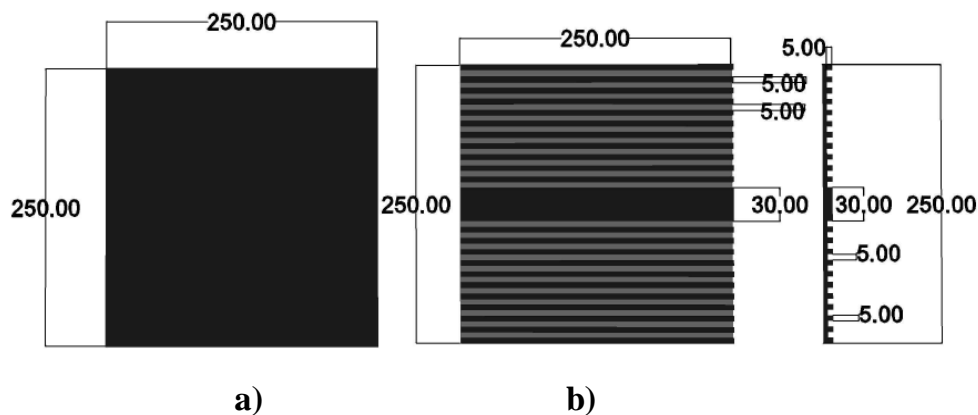


Figure 2 : a) plaque pleine et lisse, b) plaque pleine et corruguée, (côtés en mm)

3 Résultats

Dans cette étude les acquisitions ont été réalisées avec une fréquence de 1 KHz et les pulses Laser d'un même couple d'images sépare de 70 μ s. 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 vitesse décroît progressivement jusqu'à l'extérieur de la zone de mélange dans les 2 cas de plaques. De plus, plus on s'éloigne de la sortie du jet plus le profil de cette vitesse s'élargit pour les 2 plaques (figure 3).

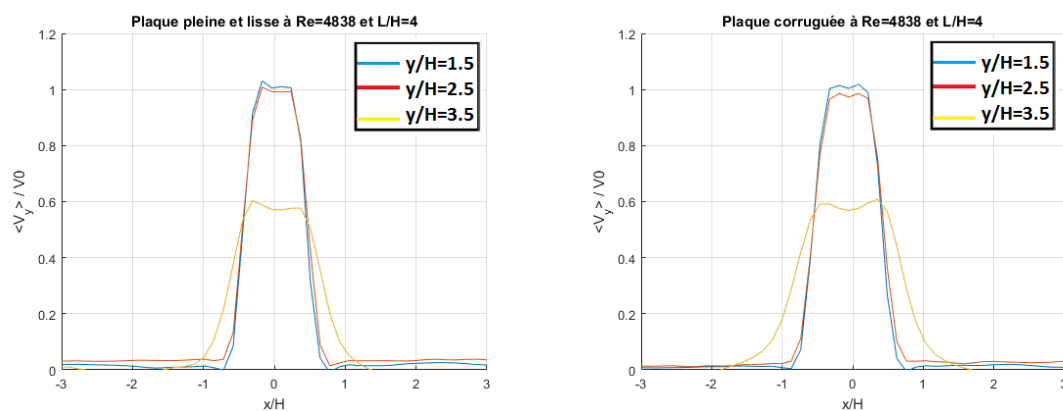


Figure 3 : profils transversaux de la vitesse longitudinale moyenne normalisés pour les 2 plaques à plusieurs positions de y et $Re=4838$

Les taux de turbulence 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 [6]. 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 un peu comparables pour les deux plaques pleines (voir figure 4).

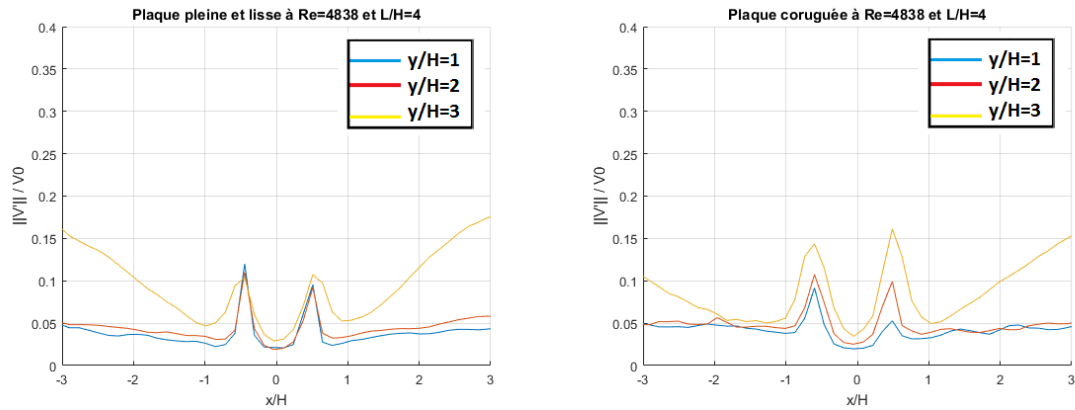


Figure 4 : profils transversaux des taux de turbulence normalisés pour les 2 plaques étudiées à différents y/H

Après avoir caractérisé le jet, on s'est intéressé aux structures tourbillonnaires générées. La figure 5 montre d'une part un exemple 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 pour la plaque lisse sont déviées de l'axe du jet vers l'écoulement pariétal puis s'écartent progressivement de la plaque (figure 5a), et elles sont également déviées vers l'écoulement pariétal pour la plaque ondulée, mais différencient par leurs tailles (plus petites), leurs intensités (plus vives) et leurs trajectoires plus proches de la plaque (figure 5b).

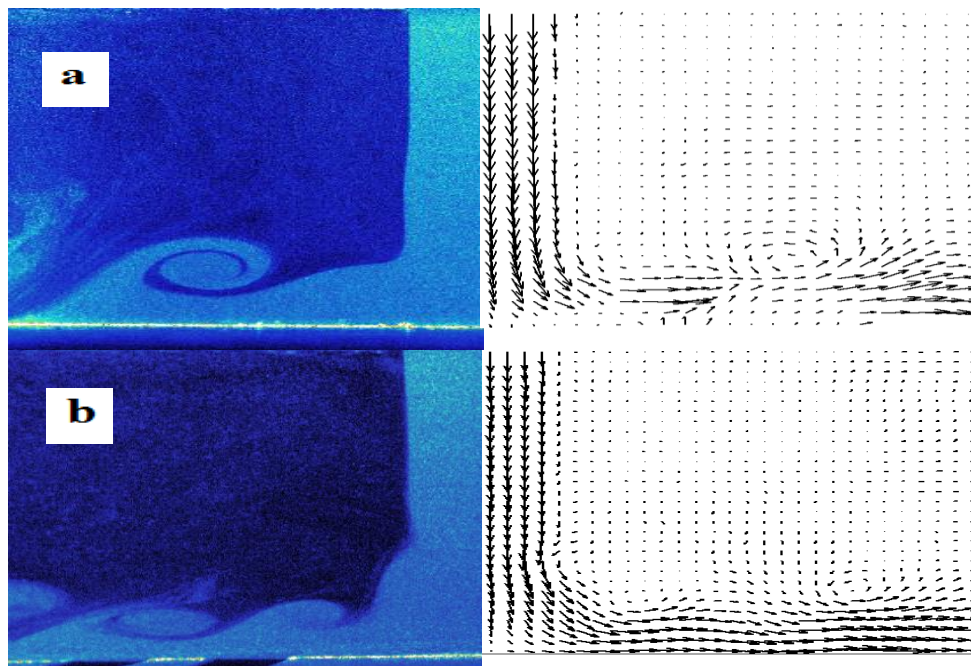


Figure 5 : les champs particulaires bruts à gauche et leurs correspondants en champs de vecteurs vitesse à droite : (a) : plaque pleine et lisse, (b) : plaque pleine et coruguée

Afin de comparer les écoulements pariétaux pour les plaques lisse et coruguée. On s'intéresse à la composante V_x de la vitesse proche de la plaque. Pour la plaque coruguée, on voit que les vecteurs

sont bien organisés comme le montre la figure 6-a. 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 6-b).

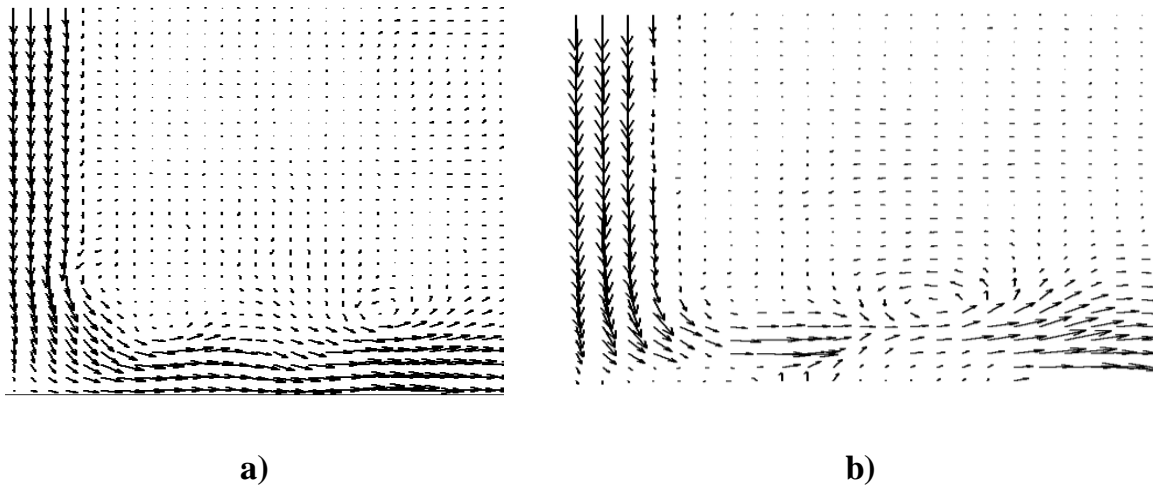


Figure 6 : les champs de vecteurs vitesse à $Re=4838$, (a) : plaque pleine et corruguée, (b) : plaque pleine et lisse

Avec l'objectif de détecter et de le suivre les structures tourbillonnaires dans chaque configuration, on a envisagé l'utilisation du 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 7).

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] :

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

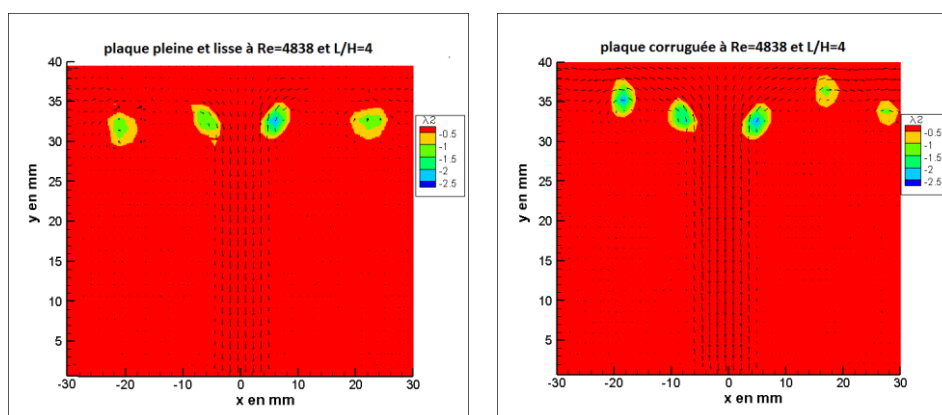


Figure 7 : structures tourbillonnaires avec le critère λ_2 pour les 2 plaques

Et comme le critère λ_2 permet de trouver les structures tourbillonnaires à un instant donné, on peut donc les trouver à tous les instants et ainsi réaliser du suivi temporel (voir figure 8). 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.

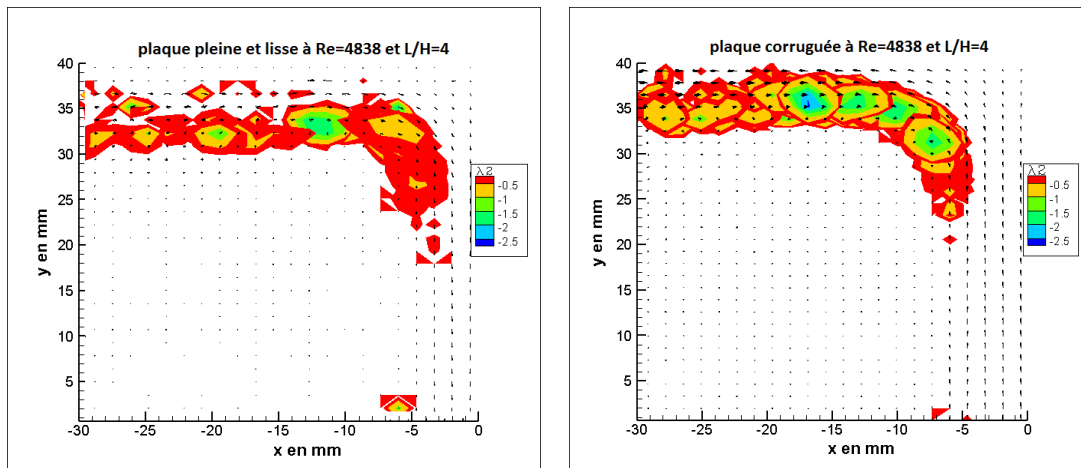


Figure 8 : trajectoire des tourbillons pour les 2 plaques

On étudie aussi les taux de turbulence à différentes positions de x/H , et pour chacune des plaques étudiées (voir figure 9)[6]. 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 $y/H = 3.5$.

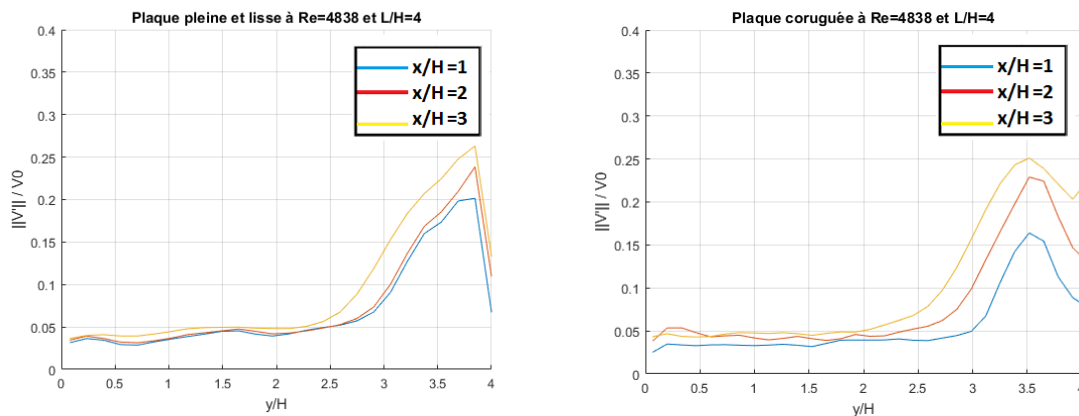


Figure 9 : profils transversaux des taux de turbulence normalisée pour 2 plaques à différents x/H

3 Conclusion

Dans cet exposé, une analyse expérimentale est présentée et traite de la comparaison entre les écoulements générés par des jets turbulents impactants des surfaces de différents états de surfaces à l'aide d'une métrologie Laser de plein champ : la PIV. Ainsi, on a 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. 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, ...).

Remerciment

Les auteurs souhaitent remercier la communauté européenne et la région nouvelle Aquitaine pour leur soutien financier à travers les Fonds européen de développement régional (FEDR).

Références

- [1] T. Mrach, Experimental analysis of the influence of the impinging plate by an impinging jet on the vortex dynamics using PIV, 5ème Congrès International Francophone de Mécanique Avancée (CIFMA'18), Beirut, Liban,
- [2] J. Hamdi, Volumetric Proper Orthogonal Decomposition of an impinging jet using SPIV measurement, 5ème Congrès International Francophone de Mécanique Avancée (CIFMA'18), Beirut, Liban,
- [3] M. Alkheir, Experimental investigation of the correlation between the dynamic of a jet impinging on a slotted plate and the acoustic field generated, 5ème Congrès International Francophone de Mécanique Avancée (CIFMA'18), Beirut, Liban,
- [4] B. Sagot, transfert thermique par jet impactant sur plaque plane corruguée, Congrès Français de thermique 2007, Île de Embiez France,
- [5] J. Jeong, F. Hussain, On the identification of a vortex, *Fluid Mechanics* (1995) 69-94
- [6] H. Assoum, Etude expérimentale des couplages entre la dynamique d'un jet qui heurte une plaque fendue et l'émission sonore générée, Thèse, Université de La Rochelle, 2013. 1995, pp. 3–6