

STRUCTURES TOURBILLONNAIRES DANS UNE CAVITE EN INTERACTION AVEC UNE COUCHE LIMITE : P.I.V. PAR FLOT OPTIQUE.

*A. Rambert, *F. Lusseyran, *P Gougat,**A. Elcafsi ,***G. Quénot,

*LIMSI-CNRS B. P. 133 91403 Orsay

**FST, campus universitaire 1060 Tunis , Tunisie

*** CLIPS-IMAG, BP53, 38041 Grenoble

Résumé :

Dans des nombreuses applications, les écoulements confinés ou se développant au voisinage de parois, comportent de grosses structures tourbillonnaires instationnaires tridimensionnelles. Afin de caractériser expérimentalement l'évolution spatio-temporelle des telles structures nous avons développé une méthodologie expérimentale originale de vélocimétrie laser par images des particules basée sur un algorithme de Flot Optique. L'interaction entre un écoulement et une cavité est représentative d'une étude de pollution atmosphérique en milieu urbain. La haute résolution et la robustesse de l'algorithme Flot Optique couplées à des mesures 3D de vitesses permettent la validation des résultats obtenus par la simulation multi-échelles (LES) en terme de tenseur de Reynolds et viscosité de sous-maille..

Abstract :

In order to characterise the evolution of three-dimensional coherent structures in a non-stationary flow we developed a new experimental method by Particle Image Velocimetry (PIV) based on the Optical Flow algorithm. In the case of an interaction between a boundary layer and a cavity, three-dimensional phenomena are characterised by velocity fields measurements. This configuration is representative of atmospheric pollution. The high Optical Flow resolution coupled with a PIV 3D velocity measurements will permit to better characterise the Reynolds tensor and valid the viscosity models used in the LES simulation.

Mots clés :

Structures tourbillonnaires, Cavité, P.I.V., Flot Optique

1 Introduction

La maîtrise de la qualité de l'air dépend de la capacité à prédire de façon qualitative mais également quantitative les variations spatio-temporelles des concentrations de polluants, intrinsèquement liées aux mouvements de fluides, vecteurs de ce transport. Une configuration représentative, en milieu urbain, est l'écoulement du vent au-dessus d'un ensemble de rues bordées d'habitations (rue canyon). Ces écoulements sont en régime instationnaire et il se produit au niveau des rues des mouvements tourbillonnaires, d'échelles spatiales très

variables (de la taille caractéristique de la rue jusqu'à l'échelle dissipative). Dans ce sens, les phénomènes engendrés par l'interaction entre une couche limite et une cavité sont représentatifs de la configuration étudiée.

L'étude expérimentale a été réalisée à l'aide de deux métrologies optiques: la vélocimétrie laser Doppler (LDV) et la vélocimétrie par images de particules (PIV), basée sur l'algorithme de Flot Optique [G.Quénot, 2001]. L'originalité de cet algorithme est de transformer le problème complexe de comparaison de deux images 2D en une séquence de problèmes simples 1D. Grâce au fait que la corrélation locale est recherchée itérativement en propageant des contraintes de continuité et de régularité au sein du champ de vitesses calculé, cette méthode est bien adaptée à la caractérisation des écoulements tourbillonnaires instationnaires, sièges de gradients de vitesse importants.

Nous présentons par la suite des mesures de champs de vitesses obtenus par l'application du Flot Optique à l'intérieur et à l'aval de la cavité afin de montrer la perturbation de l'écoulement moyen par l'échappement tourbillonnaire. Une exploitation d'images instantanées dans cette zone permet de mettre en évidence la présence de tourbillons isolés.

2. Configuration expérimentale

Nous avons établi expérimentalement en amont d'une cavité une couche limite laminaire de plaque plane (Figure 1). La cavité est définie par son rapport de forme h/L . Pour trois rapports de forme différents (0.5; 1 et 2) nous avons étudié les phénomènes tourbillonnaires correspondants à un nombre de Reynolds Re_x égal à 1.6×10^4 ($Re_x = U_\infty X_1 / \nu$, $\nu = 1.5E-5 \text{ m}^2/\text{s}$).

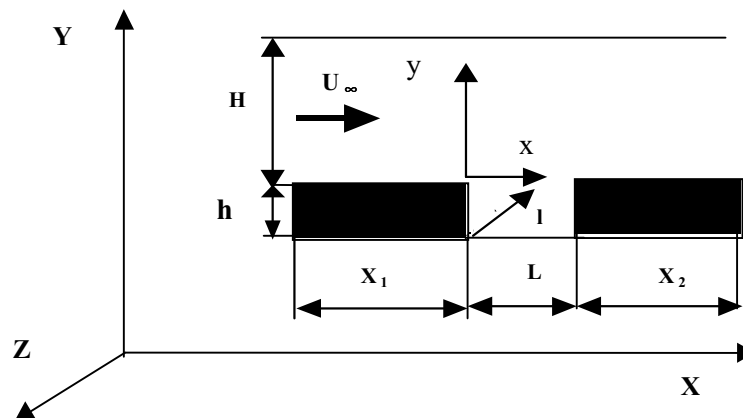


FIG. 1 Configuration géométrique étudiée

cavité	h (m)	L (m)	l (m)	H (m)	X ₁ (m)	X ₂ (m)
large (CL)	0.05	0.1	0.08	0.075	0.2	0.3
carrée (CC)	0.1	0.1	0.08	0.075	0.2	0.3
profonde (CP)	0.2	0.1	0.08	0.075	0.2	0.3

TAB.1: Paramètres de la configuration géométrique étudiée

Des profils de vitesses (U/U_∞) en fonction de (y) ont été mesurés par anémométrie fil chaud à différentes abscisses par rapport au bord d'attaque. Le profil de vitesse dans la couche limite est en bonne concordance avec la solution de Blasius

À l'aide d'une caméra CCD Pulnix de résolution 768x484 pixels nous avons enregistré une série de 50 images de l'écoulement dans la cavité. Le temps entre les éclaircissements est de 1500 μs et leur durée de 300 μs . La fréquence de la caméra (30 Hz) limite l'intervalle de

temps entre deux champs de vitesses à 66 ms. Deux types d'ensemencements ont été utilisés : des particules de Lycopode et un traceur continu par fumée.

3. Résultats

Le champ de vitesses résultant de l'interaction entre la cavité et l'écoulement principal peut être décomposé en 3 domaines : l'écoulement dans la cavité, la couche de cisaillement siège d'instabilités et le développement des instabilités en aval de la cavité. Un exemple des interactions entre les 3 domaines est donné sur la Figure 2. Il s'agit d'une cavité profonde sollicitée par une vitesse à l'infini $U_\infty=1.2$ m/s. Les structures tourbillonnaires sont mises en évidence par de la fumée. Le champ de vitesses 2D est obtenu par l'application du Flot Optique sur le déplacement de la fumée. Des instabilités du type Kelvin-Helmoltz sont rendues visibles dans la couche de cisaillement par l'enroulement des lignes de courant. Une grosse structure tourbillonnaire matérialisée par des lignes d'émission de fumée est convectée par l'écoulement contournant la recirculation créée par le bord aval de la cavité.

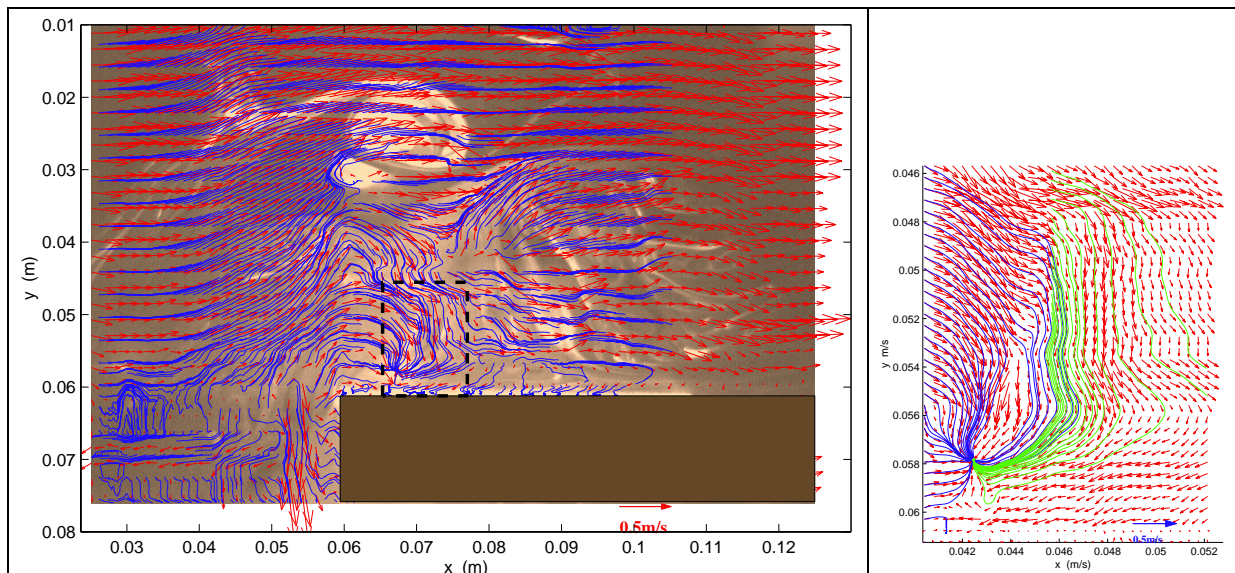


FIG. 2 Champs de vitesses (1 vecteur sur 14) et lignes de courant ; en arrière plan une des images ayant servi au calcul de champ de vitesses et zoom de la zone encadrée

Un échantillon de champs de vitesses obtenus dans la cavité large ainsi que la moyenne obtenue pour 50 échantillons sont présentés sur la Figure 3. Les dimensions des images, ainsi que l'échelle sont précisées sur la figure (1 vecteur sur 16). Notons que peu de faux vecteurs sont repérables, bien que les champs de vitesses soient des résultats bruts, sans post-traitement.

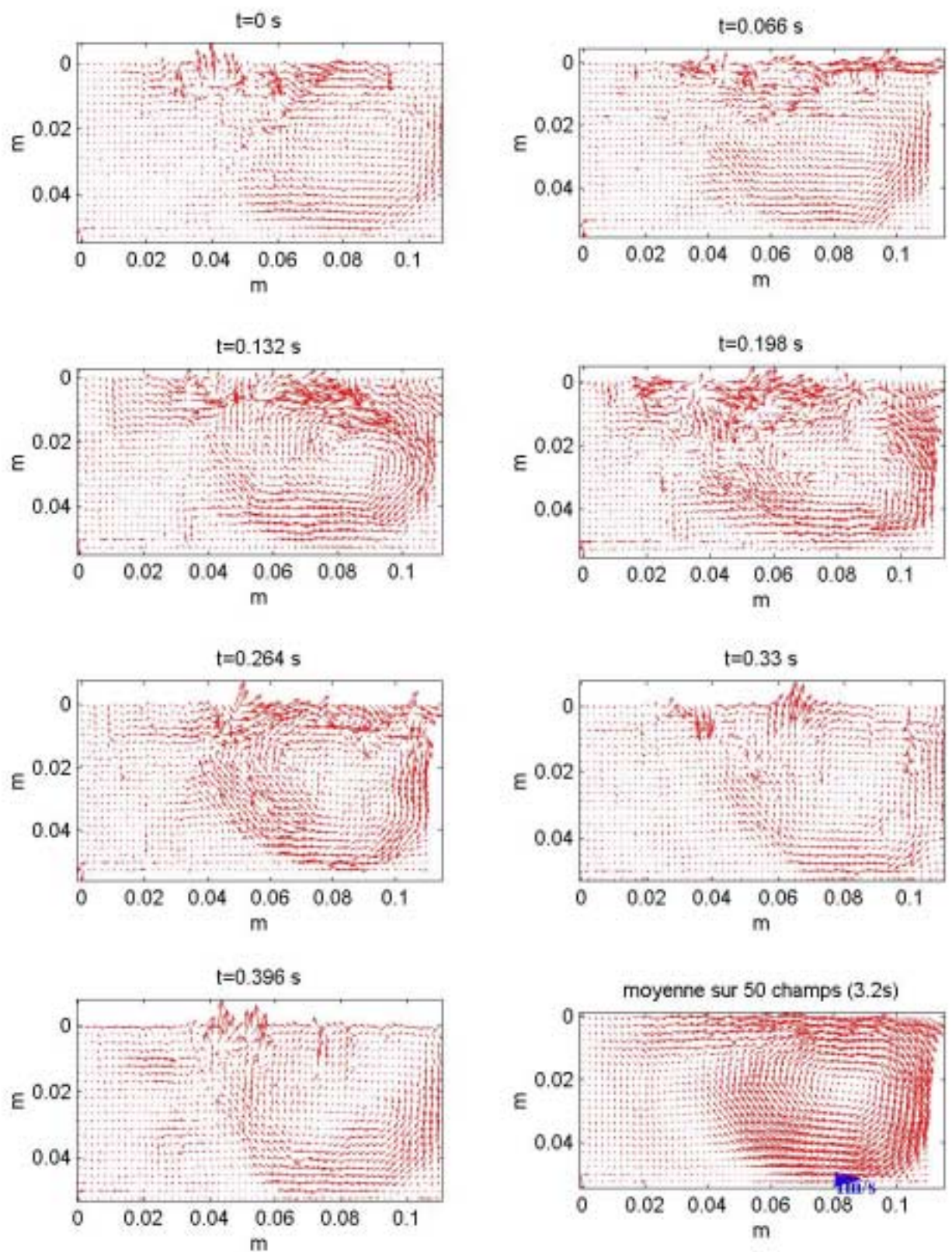


FIG.3 Evolution de champs de vitesses et leur moyenne dans la cavité large

Nous pouvons identifier un mouvement tourbillonnaire, dominé par une grande structure qui tourne dans le sens des aiguilles d'une montre située près de la paroi face au vent, alors que des mouvements de sens contraire et d'une intensité beaucoup plus faible se produisent dans le reste de la cavité. Sous les effets du frottement visqueux, le tourbillon principal va entraîner le reste du fluide et sa taille augmente sensiblement. Dans ce cas son diamètre est de l'ordre de la hauteur de la cavité. Cette évolution montre que le fluide pénètre d'abord dans la cavité au niveau de la paroi face au vent et ensuite il remonte vers la couche de cisaillement qui est ainsi fortement perturbée. On remarque simultanément des régions d'éjection et de retour de fluide dans la cavité.

Pour mieux suivre le tourbillon principal, nous avons réalisé dans les mêmes conditions, des mesures dans la partie droite de la cavité. On observe que les structures ne sont transportées vers l'extérieur de la cavité que lorsqu'elles atteignent une taille significative. La recirculation créée près de la paroi sous le vent contribue au processus de croissance des tourbillons.

Dans les mêmes conditions hydrodynamiques nous présentons sur la Figure 4a les résultats obtenus pour la cavité carrée en utilisant des particules de Lycopode. Dans ce cas il n'existe principalement qu'une structure tourbillonnaire dont la taille est du même ordre de grandeur que les dimensions de la cavité.

Les moyennes de champs de vitesses ont été calculées sur des images de l'écoulement ensemencé, d'une part, avec des particules de Lycopode (Figure 4b) et d'autre part, de la fumée (Figure 4c). Qualitativement on constate que le mouvement tourbillonnaire est bien retrouvé dans les deux cas, ainsi que les ordres de grandeurs de la vitesses moyenne. Ces résultats montrent la possibilité d'utiliser la fumée comme traceur, pour obtenir simultanément les lignes d'émission et les champs de vitesses.

Cependant, des différences entre les deux champs moyens subsistent . Nous comptons développer les méthodes qui permettraient d'estimer à priori les zones où le déplacement du champ de fumée ne peut pas rendre compte de la vitesse.

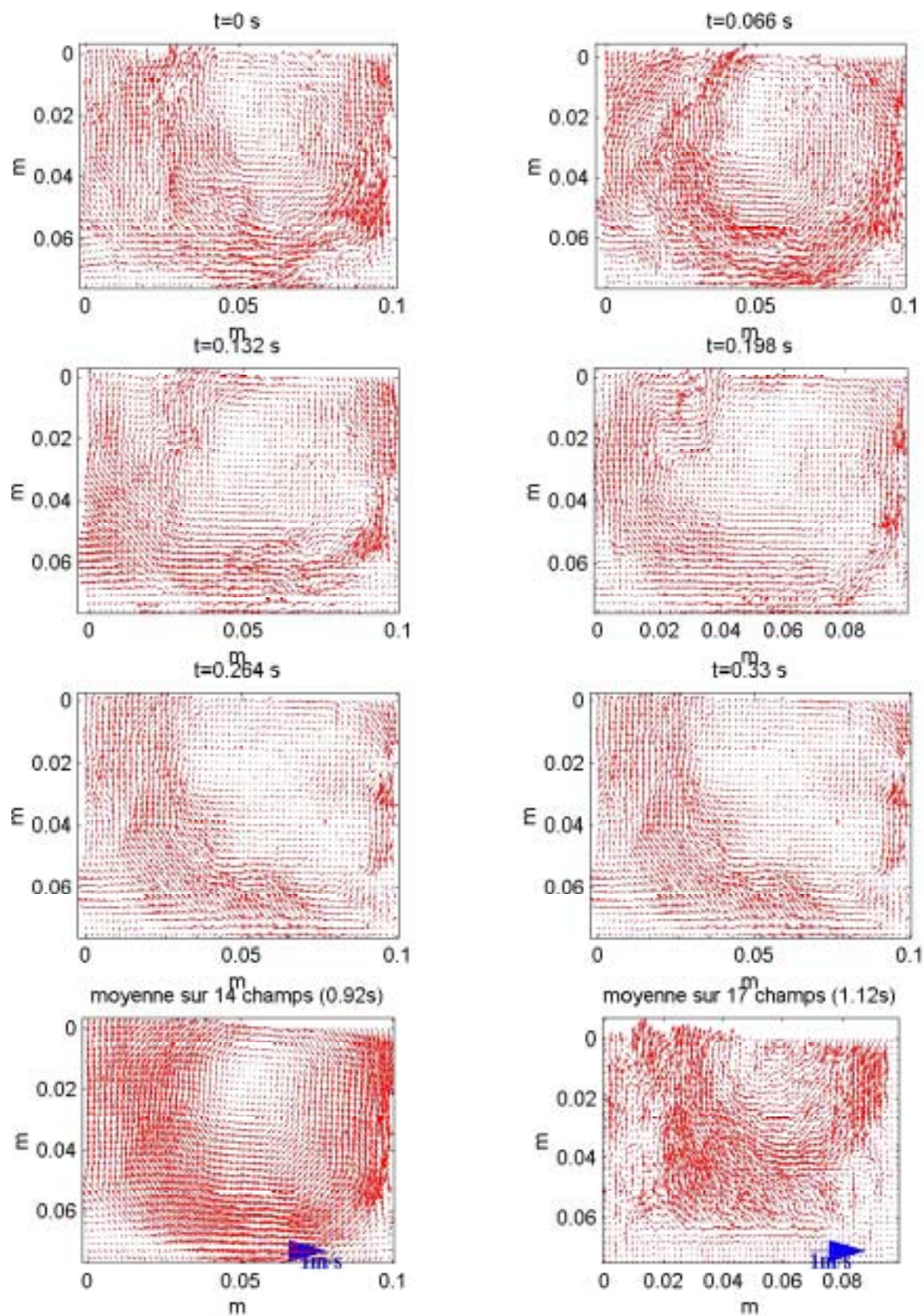


FIG. 4 Cavité carr e:  volution et moyenne de champs de vitesses;ensemencement avec des particules de Lycopode (0.92s) avec de la fumée (1.12s)

Le caractère tridimensionnel des structures tourbillonnaires a été mis en évidence par une visualisation et une mesure des champs de vitesses dans le plan (YZ), perpendiculaire à l'écoulement moyen [Elcafsi et al.,1999]. Les résultats sont présentés sur la Figure 5a et 5b pour la cavité large et la cavité carrée.

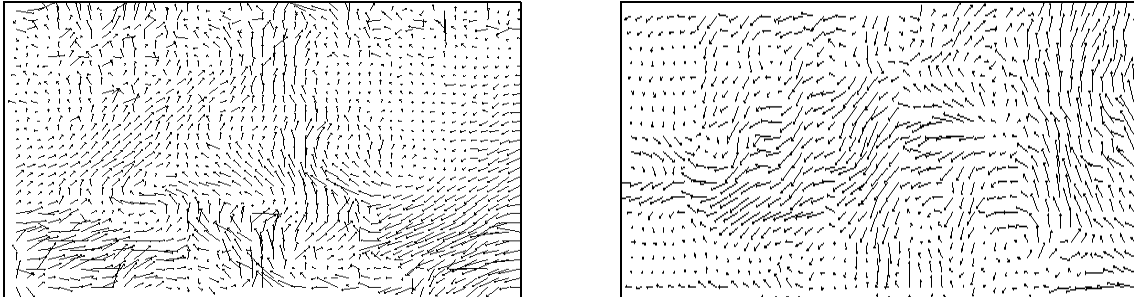


FIG. 5 Champ de vitesses obtenus dans le plan YZ pour
(5a) la cavité large (5b) la cavité carrée (1 vecteur sur 16)

Pour mieux caractériser la dynamique spatio-temporelle de ces structures tourbillonnaires, le développement d'une mesure simultanée de trois composantes de la vitesse par stéréoscopie et par l'application de l'algorithme de Flot Optique est en cours.

4. Conclusion

L'application de la PIV pour caractériser l'interaction entre une couche limite et une cavité nous a permis de mettre en évidence la naissance de tourbillons et leur développement.

Cet algorithme de Flot Optique présente l'originalité de permettre le traitement des images des écoulements ensemencés à l'aide d'un traceur continu (fumée). Cette nouvelle méthode apporte un gain important en termes de robustesse et de résolution spatiale (champs denses et continus, jusqu'à un vecteur par pixel).

Les comparaisons entre calcul et expérience se limitent aux profils de vitesses moyennes ainsi qu'aux fréquences d'échappement tourbillonnaire en aval de la cavité. La comparaison de l'évolution spatio-temporelle expérimentale et numérique des structures autour desquelles l'écoulement s'organise sera un critère de validation indispensable. Il est donc nécessaire de développer une méthodologie de détection et d'extraction des structures tourbillonnaires à partir des champs de vitesses.

Références

ELCAFSI, A., RAMBERT, A., GOUGAT, P.; Optical Flow technique used to characterise the flow inside different cavities interacting with a boundary layer, Euromech 406, Image Processing Methods in Applied Mechanics, 6-8 mai 1999, Varsovie, Pologne.

QÉNOT , G., RAMBERT A. et LUSSEYRAN, F.; Simple and Accurate PIV Camera Calibration using a Single Target Image and Camera Focal Length, 4th International Symposium on Particle Image Velocimetry, 17-19 September 2001, Göttingen, Germany,