



HAL
open science

Écoulement turbulent affleurant une cavité profonde

Mouhammad El Hassan, Larbi Labraga, Laurent Keirsbulck

► **To cite this version:**

Mouhammad El Hassan, Larbi Labraga, Laurent Keirsbulck. Écoulement turbulent affleurant une cavité profonde. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03361713

HAL Id: hal-03361713

<https://hal.science/hal-03361713>

Submitted on 1 Oct 2021

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.

Écoulement turbulent affleurant une cavité rectangulaire profonde

Mouhammad El Hassan, Larbi Labraga & Laurent Keirsbulck

Laboratoire de mécanique et d'énergetique (LME)
UVHC Le mont Houy, Valenciennes 59300
elhassanmoh@yahoo.fr

Résumé :

Cette étude présente l'effet d'une cavité rectangulaire très profonde sur l'écoulement turbulent affleurant. Le rapport L/H de notre cavité est de 0.2 (longueur $L = 5\text{mm}$, profondeur $H = 25\text{mm}$). L'analyse traite des caractéristiques temporelle et spatiale de l'écoulement. Des mesures de profils de vitesse par Vélocimétrie Laser Doppler (LDV) montrent que ces profils ainsi que le frottement pariétal et les fluctuations de la vitesse longitudinale sont affectés par la présence de la cavité. Les champs de vitesse autour de la cavité sont obtenus par Vélocimétrie par image de particule (PIV). Ceci a permis de montrer l'absence d'oscillations auto-entretenues dans la couche de cisaillement.

Abstract :

This investigation shows the influence of a rectangular deep cavity on the incoming turbulent boundary layer. The characteristic length-to-depth ratio of the cavity is $L/H = 0.2$ ($L = 5\text{ mm}$ and $H = 25\text{ mm}$). Longitudinal velocity profiles are obtained from Laser Doppler Velocimetry (LDV). These profiles as well as the corresponding friction coefficient are affected by the presence of the cavity. Particle image velocimetry (PIV) and LDV measurements are in good agreement. PIV analysis shows that the no oscillations exist in the cavity shear layer.

Mots-clefs :

Cavité profonde ; frottement pariétal ; LDV ; PIV

1 Introduction

L'écoulement turbulent autour d'une cavité profonde est rencontré dans de nombreuses applications industrielles (pantographes de TGV, toits ouvrants, césures de porte de voiture). Divers auteurs se sont intéressés à l'étude du frottement pariétal en aval d'une cavité rectangulaire. La plupart des études en général traitent d'une cavité peu profonde. A notre connaissance, le frottement pariétal en aval d'une cavité très profonde n'a pas été étudié dans la littérature. Le but de cette étude est d'étudier l'influence d'une cavité rectangulaire profonde sur une couche limite turbulente affleurante. Ceci a été réalisé grâce à des mesures de profils de la vitesse longitudinale par LDV et de champs de vitesse par PIV. Les profils de vitesse obtenus par LDV ont permis d'estimer le frottement pariétal et donc d'étudier l'évolution de ce frottement en aval de la cavité. Cette grandeur a été traitée par d'autres auteurs dans le cas d'une cavité carrée. Ainsi Choi and Fujisawa (1993) ont trouvé une diminution du coefficient de frottement pariétal juste en aval d'une cavité carrée. Elavarasan *et al.* (1996) constatent une augmentation du frottement pariétal juste en aval de la cavité suivie par une diminution rapide, un "undershoot" et un retour progressif à la valeur du frottement en amont de la cavité. Pearson *et al.* (1997), Sutardi and Ching (1999 et 2003) et Wahidi *et al.* (2005) ont trouvé la même évolution du frottement pariétal du point de vue qualitatif. Quantitativement, des différences concernant la valeur maximale du frottement, de l'intensité de l'"undershoot" ainsi que la position à laquelle le coefficient de frottement pariétal (C_f) reprend sa valeur de l'amont de la cavité existent entre les études réali-

sées par ces différents auteurs. L'étude de l'écoulement autour d'une cavité profonde permettra de comparer l'impact qu'a ce type de cavité sur l'écoulement par rapport à celui d'une cavité peu profonde.

2 Dispositif expérimental et techniques de mesures

2.1 Dispositif expérimental

Les mesures ont été effectuées dans la veine d'essais en altuglas d'un canal hydraulique d'une section carrée de $30 \times 30 \text{ cm}^2$, et d'une longueur de 120 cm . Le déclenchement de la turbulence est réalisé grâce à une bande rugueuse placée à l'entrée de la veine d'essais. Une cavité rectangulaire profonde ($L = 5 \text{ mm}$, $H = 25 \text{ mm}$) est usinée à environ 110 cm de l'entrée de la veine. La vitesse extérieure, le nombre de Reynolds, et l'épaisseur de la couche limite incidente valent respectivement $U_0 = 0.78 \text{ m/s}$, $Re_\theta = 2100$ et $\delta_0 = 30 \text{ mm}$.

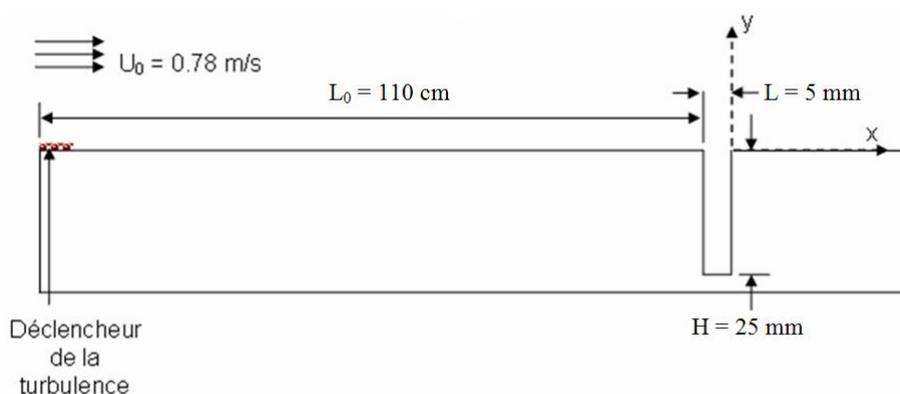


FIG. 1 – Schéma de la plaque plane et la cavité profonde

2.2 Dispositif du système LDV

Un système Vélocimétrie Laser Doppler TSI est utilisé pour mesurer la composante longitudinale de la vitesse ainsi que ses fluctuations. La chaîne anémométrique est composée : d'un générateur laser ion-Argon (puissance = 4.6 W), un séparateur de faisceaux, une cellule de BRAGG, une sonde fibre-optique (focale = 120 mm), un photomultiplicateur et un système analyseur (IFA 750) piloté par un logiciel d'analyse de données FIND qui assure le traitement des résultats. Le volume de mesure est de $0.05 \times 0.32 \text{ mm}^2$. Des particules d'Iridine 110 d'un diamètre variant entre 1.5 et $10 \mu\text{m}$, ont servis de traceurs. Les mesures de profils de vitesse sont effectuées en amont (profil non perturbé) et en plusieurs positions en aval de la cavité.

2.3 Dispositif du système PIV

Le système de mesure PIV est standard. La source lumineuse est assurée par un laser Nd-Yag dont l'émission est pulsée à une fréquence de 15 Hz . La nappe lumineuse est obtenue par un bras Laser et une lentille cylindrique. Une caméra CCD ($1024 \times 1016 \text{ pixels}$), synchronisée au laser, est placée selon un axe perpendiculaire à la nappe laser. La fenêtre d'interrogation est de $32 \times 32 \text{ pixels}$, le taux de recouvrement de 0.5 , et la résolution spatiale de 14 unités de paroi. Une première série de mesures a été réalisée dans le but d'obtenir un champ de vitesse autour

de la cavité et permettant ainsi de comparer ces résultats à ceux des mesures LDV. Une seconde série de mesures a permis d'étudier la vorticité autour de la cavité et plus particulièrement dans la couche de cisaillement de la cavité. Pour chacune des configurations, 1000 paires d'images ont été enregistr es.

3 Résultats

3.1 Profils de vitesses et coefficient de frottement (obtenus par LDV)

La couche limite turbulente en amont et en aval de la cavité a été  tudi e afin de quantifier l'influence de la cavité profonde sur l'écoulement turbulent. Ainsi, la composante longitudinale de la vitesse ainsi que ses fluctuations ont été mesur es à 35 mm en amont et à plusieurs positions en aval de la cavité. Les profils de la vitesse longitudinale adimensionn e par la vitesse de frottement pariétal, sont représentés sur la figure 1.

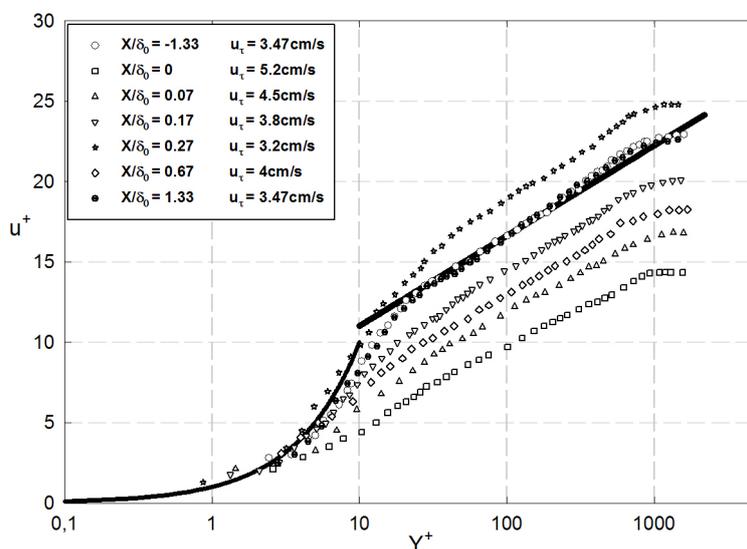


FIG. 2 – Influence de la cavité sur les profils de la vitesse moyenne longitudinale adimensionnée en variables internes

Ces profils sont ceux d'une couche limite turbulente. Un décalage vers le bas est observé pour les profils de vitesse mesurés en aval de la cavité. La position $x/\delta_0 = 0$ (bord de fuite de la cavité) montre la variation la plus prononc e, suivie par un retour progressif vers la configuration d'un profil non perturbé. Ce décalage des profils de vitesse est d  à une vitesse de frottement pariétale plus  lev e en aval de la cavité par rapport à celle du profil de vitesse non perturbé. Le profil de vitesse correspondant à $x/\delta_0 = 0.27$ est décalé vers le haut par rapport au profil non perturbé et la vitesse de frottement correspondante est plus faible que celle mesur e en amont de la cavité. La Figure 3 montre la variation du frottement pariétal en amont et en aval de la cavité. La vitesse de frottement pariétale u_τ est obtenue à partir du diagramme de Clauser ainsi que par mesure du gradient de vitesse à la paroi. Ces deux méthodes semblent donner des résultats similaires.

Au niveau du bord de fuite de la cavité ($x/\delta_0 = 0$), $C_f/C_{f0} = 2.25$. Cette augmentation du coefficient de frottement est suivie d'une décroissance jusqu'à atteindre une valeur inférieure de 30 % à celle du coefficient du frottement du profil non perturbé. Un retour progressif vers une valeur du cas non perturbé est ensuite observé ($C_f = C_{f0}$)   $x/\delta_0 = 1.33$.

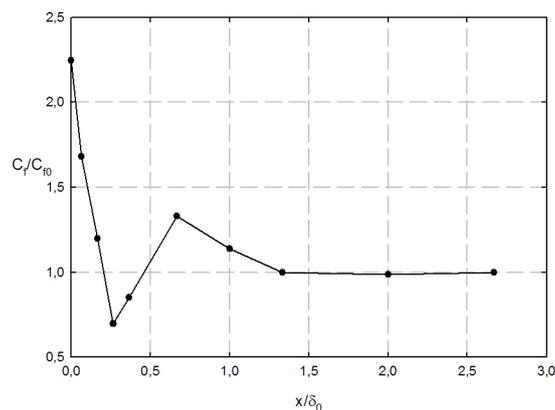


FIG. 3 – Variation du coefficient de frottement pariétal rapporté à celui sans cavité

3.2 Moment statistique d'ordre 2 des fluctuations de vitesse

La figure 4 montre le taux de fluctuations de la vitesse longitudinale en amont et pour différentes positions en aval de la cavité.

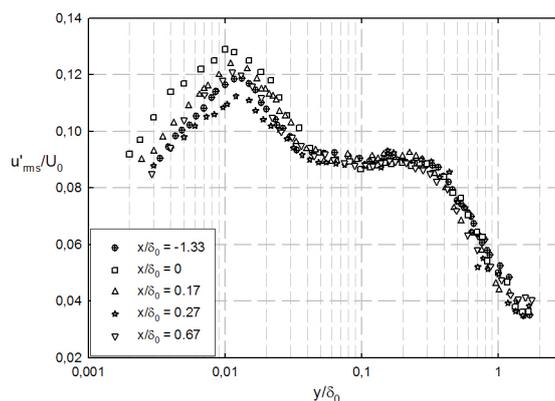


FIG. 4 – Intensité de turbulence de la vitesse longitudinale

Près de la paroi ($y/\delta_0 < 0.1$), le profil de fluctuation de la vitesse longitudinale est affecté par la présence de la cavité. Ainsi pour $x/\delta_0 = 0.17$ et $x/\delta_0 = 0.23$, u'_{rms} est plus important que celui du profil non perturbé. Pour $x/\delta_0 = 0.43$, u'_{rms} diminue dans la zone proche de la paroi. L'abscisse de la valeur maximale de u'_{rms} , pour le profil obtenu au niveau du bord de fuite de la cavité ($x/\delta_0 = 0$), est plus faible que celui du cas non perturbé. Cette variation corrobore celle du frottement pariétal. Pour $y/\delta_0 > 0.1$, les profils en aval de la cavité ainsi que celui non perturbé sont confondus.

3.3 Discussion

Le comportement de l'écoulement en aval de la cavité dépend de plusieurs paramètres. Ainsi la couche limite incidente et la géométrie de la cavité jouent un rôle important dans ce processus. Elavarasan et al. (1996) ont montré que l'augmentation de C_f en aval de la cavité est plus importante pour des nombres de Reynolds plus élevés. Sutardi et Ching (1999) trouvent une

différence significative entre leurs valeurs et celles trouvées par Pearson et al. (1997). Ils ont attribué ceci à la différence de R_θ et L/δ_0 entre les deux études. Wahidi et al. (2005) confirment l'influence de R_θ et L/δ_0 sur le frottement an aval de la cavité. L'influence de la taille de la cavité a été étudiée par Sutardi et Ching (2003). Ces auteurs ont montré que l'augmentation du frottement juste en aval de la cavité est plus importante pour des cavités de plus grandes tailles. S'agissant d'une cavité carrée ($L = H = 5$ mm), aucune des études citées n'a pris en compte l'influence de la profondeur ou du rapport L/H de la cavité. Une comparaison entre nos conditions expérimentales et celles de l'étude de Pearson et al. est illustrée dans le tableau 1.

TAB. 1 – influence de R_θ et L/δ_0 sur $(C_f/C_{f0})_{min}$ et $(C_f/C_{f0})_{max}$

	R_θ	L/δ_0	L/H	$(C_f/C_{f0})_{min}$	$(C_f/C_{f0})_{max}$
Pearson et al. (1997)	1320	0.17	1	3	0.25
Notre étude	2100	0.17	0.2	2.25	0.7

Le rapport L/H de notre étude est égal à celui de Pearson et al. alors que le R_θ est plus élevé. En se basant sur la discussion faite ci-dessus, l'augmentation du frottement juste en aval de la cavité devrait être plus importante dans notre étude par rapport à celui trouvé par Pearson et al. D'après le tableau nous constatons le contraire. Cette conclusion nous permet de prendre en compte un paramètre géométrique : le rapport L/H . ainsi le frottement en aval d'une cavité rectangulaire dépendra de 3 paramètres : R_θ , L/δ_0 et L/H .

3.4 Profils de vitesse (comparaison LDV-PIV)

Une première série de mesures a été réalisée dans le but d'avoir un champ de vitesse autour de la cavité et d'en déduire les profils de vitesse en amont et en aval de la cavité afin de les comparer avec ceux obtenus par LDV. La figure 5 permet de comparer 3 profils de vitesse PIV avec ceux obtenus par LDV pour les mêmes positions.

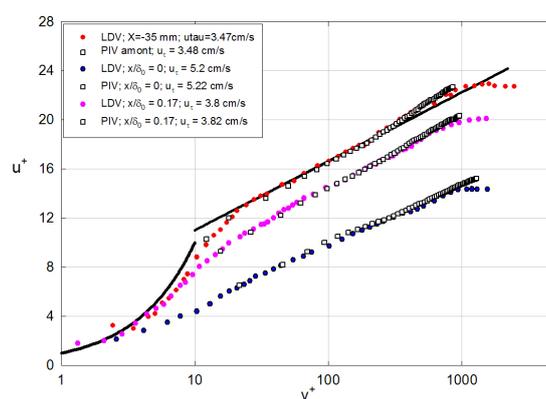


FIG. 5 – Comparaison des profils de la vitesse moyenne longitudinale obtenus par LDV et PIV

Les vitesses de frottement déduites du diagramme de Clauser pour les profils PIV est similaire (différence < 0.5%) à celle obtenue par LDV. Ceci permet de valider et de confirmer la fiabilité des mesures LDV.

3.5 Structures cohérentes dans la couche de cisaillement

La couche de cisaillement est caractérisée par la présence de structures cohérentes dues aux forts gradients de vitesse entre l'écoulement extérieur affleurant et celui confiné à l'intérieur de la cavité. Ces structures se déplacent du bord amont vers le bord aval de la cavité à une certaine vitesse. Le suivi de l'évolution temporelle des structures cohérentes ainsi que la détermination de leur vitesse de convection dans la couche de cisaillement n'était pas possible. La figure 6 montre un champ de vorticité autour de la cavité. Seule la couche de cisaillement ainsi que 2 mm à l'intérieur de la cavité sont montrés sur cette figure. D'une part, les structures de la couche de cisaillement ont des dimensions ainsi semblables à celles de la couche limite incidente. D'autre part, l'analyse des spectres d'énergie de la vitesse obtenus par LDV (non montrés dans cet article) montrent l'absence de pics caractérisant d'éventuel phénomène d'oscillation dans la couche de cisaillement. Ces deux remarques nous permet de conclure de l'absence d'oscillation auto-entretenues dans la couche de cisaillement. Ceci est dû aux faibles valeurs de L/δ_0 et celle de la vitesse extérieure (Sarohia, 1977 ; Knisely et Rockwell (1982)).

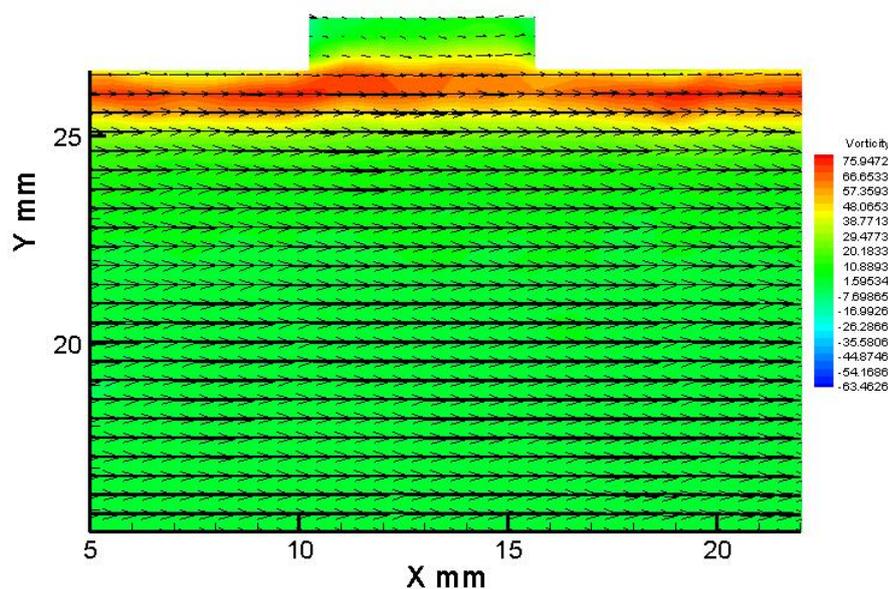


FIG. 6 – La vorticité obtenue par PIV autour de la cavité

4 Conclusion

La présente étude a permis de montrer l'influence d'une cavité profonde sur l'écoulement turbulent affleurant. Ainsi les profils de la vitesse moyenne longitudinale et ses fluctuations sont affectés par la présence de la cavité. De plus, le frottement pariétal augmente juste en aval de la cavité, avant de décroître pour atteindre une valeur minimale puis reprendre progressivement sa valeur non perturbée. Ce frottement pariétal en aval de la cavité dépend de trois paramètres : R_θ , L/δ_0 et L/H . Des mesures PIV ont montré la fiabilité des mesures LDV et mis en évidence que pour des faibles valeurs de L/δ_0 et de U_0 , l'absence d'oscillations auto-entretenues dans la couche de cisaillement.

Références

Choi, K.S., Fujisawa, N. 1993 Possibility of drag reduction using d-type roughness. *Applied*

Scientific Research **55** 315-324

- Elavarasan, R., Ching, C.Y., Antonia, R.A. 1996 Turbulent Boundary Layer Over a Smooth Wall with Widely Separated Transverse Square Cavities. *Applied Scientific Research* **55** 227-243
- Knisely, C., Rockwell, D. 1982 Self-sustained low-frequency components in an impinging shear layer. *J. Fluid Mech.* **116** 157-186
- Pearson, B.R., Elavarasan, R, Antonia, R.A. 1997 The response of a turbulent boundary layer to a square groove. *J Fluids Eng.* **119** 466-352
- Sutardi, C.Y. Ching 1999 Effect of a transverse square groove on a turbulent boundary layer. *Exp. Therm. and Fluid Sci.* **20** 1-10
- Sutardi, C.Y. Ching 2003 The response of a turbulent boundary layer to a different shaped transverse grooves *Experiments in Fluids* **35** 325-337
- Sarohia, V. 1977 Experimental Investigation of Oscillations in Flows Over Shallow Cavities *AIAA J.* **15(7)** 984-991
- Wahidi, R., Chakroun, W., Al-Fahed, S. 2005 The behavior of the skin-friction coefficient of a turbulent boundary layer flow over a flat plate with differently configured transverse square grooves *Experimental Thermal and Fluid Science* **30** 141-152