

Contrôle de l'écoulement turbulent autour d'un obstacle par l'effet de courbure

ALIANE Khaled^{#1}, SARI-HASSOUN Zakaria ^{*2}

[#] *Department de Génie Mécanique, Université de Tlemcen
Faculté de Technologie, B.P. 230 Chetouane Tlemcen Algérie*

¹kh_aliane@yahoo.fr

^{*}*Department de Génie Mécanique, Centre Universitaire de Ain Temouchent
BP 284 RP, 46000, Algérie*

²sarihassounz@yahoo.com

Abstract—L'étude des écoulements autour d'obstacles trouve son intérêt dans de nombreuses applications. Pour cela, une telle étude est largement investiguée par les chercheurs. Chacun d'entre eux vise un objectif différent de l'autre et trouve de nouveaux résultats pour de nouvelles applications. L'étude des écoulements autour d'obstacles se décompose en trois positions différentes par rapport à l'obstacle : en amont de l'obstacle, sur l'obstacle et en aval de ce dernier. Les travaux des différents chercheurs confirment tous que l'étude des deux premières positions est plus ou moins maîtrisée et que le comportement du fluide dans ces endroits est bien connu. Par contre, le comportement du fluide en aval de l'obstacle est moins connu et des modélisations physiques et numériques sont en cours vu l'existence des zones de recirculation caractérisées par leurs comportements complexes. L'étude de la variation de ces zones de recirculation et de leurs longueurs de réattachement correspondantes trouve son intérêt dans plusieurs applications, notamment dans le refroidissement des composants électroniques et les échangeurs de chaleur. Elle est fortement intéressante lors de l'étude de la basse couche de l'atmosphère urbaine qui est la canopée urbaine, existante entre le sol et le niveau moyen des toits. Dans cet endroit, la longueur de réattachement qui détermine l'envergure de la zone de recirculation des courants de retour emprisonne des aérosols et des polluants gazeux ou particuliers dont les tailles sont liées directement à la taille de ces zones. L'apport de cette étude consiste à montrer l'effet de l'arrondissement se trouvant sur l'arête amont et aval de l'obstacle rectangulaire sur les dimensions de la longueur de réattachement XR/h et sur la deuxième zone de recirculation créée en aval de cet obstacle. Pour ce faire, on compare les résultats de l'obstacle rectangulaire avec ceux de l'obstacle rectangulaire arrondi sur l'arête amont et arrondi sur l'arête aval.

Keywords— Include at least 5 keywords or phrases

I. INTRODUCTION

L'étude des écoulements autour d'obstacles trouve son intérêt dans de nombreuses applications. Pour cela, une telle étude est largement investiguée par les chercheurs. Chacun d'entre eux vise un objectif différent de l'autre et trouve de nouveaux résultats pour de nouvelles applications. L'étude

des écoulements autour d'obstacles se décompose en trois positions différentes par rapport à l'obstacle : en amont de l'obstacle, sur l'obstacle et en aval de ce dernier. Les travaux des différents chercheurs confirment tous que l'étude des deux premières positions est plus ou moins maîtrisée et que le comportement du fluide dans ces endroits est bien connu. Par contre, le comportement du fluide en aval de l'obstacle est moins connu et des modélisations physiques et numériques sont en cours vu l'existence des zones de recirculation caractérisées par leurs comportements complexes.

L'étude de la variation de ces zones de recirculation et de leurs longueurs de réattachement correspondantes trouve son intérêt dans plusieurs applications, elle est fortement intéressante lors de l'étude de la basse couche de l'atmosphère urbaine qui est la canopée urbaine, existante entre le sol et le niveau moyen des toits. Dans cet endroit, la longueur de réattachement qui détermine l'envergure de la zone de recirculation des courants de retour emprisonne des aérosols et des polluants gazeux ou particuliers dont les tailles sont liées directement à la taille de ces zones

L'apport de cette étude consiste à montrer l'effet de l'arrondissement se trouvant sur l'arête aval de l'obstacle rectangulaire sur le contrôle des dimensions de la longueur de réattachement XR/h et sur la deuxième zone de recirculation créée en aval de cet obstacle. Pour ce faire, on étudie la variation de la longueur de réattachement en fonction du nombre de Reynolds Re_h et en fonction des rapports longueur sur hauteur de l'obstacle l/h , d'une part, et hauteur de l'obstacle sur hauteur du canal h/H , d'autre part. Cela est obtenu en comparant les résultats de l'obstacle rectangulaire arrondi avec ceux de l'obstacle rectangulaire.

Une recherche bibliographique indique que beaucoup d'études ont été menées pour contrôler le comportement défavorable lié aux écoulements séparés en aval de l'obstacle, on peut citer comme exemples les travaux de Dipankar Chatterjee et Bittagopal Mondal [1], Roos and Kegelman [2], Kiya et al. [3], [4], Sigurdson [5], Chun and Sung [6], Sung et al. [7], S. Kang, and H. Choi [8].

On peut classer ces travaux selon deux grandes catégories : les travaux qui utilisent une énergie extérieure, en plus, pour contrôler le point de réattachement ; ces techniques s'appellent control actif [9], [10] et ceux qui n'utilisent aucun travail extérieur. Ce dernier type de technique s'appelle control passif [11]. La technique utilisée dans ce travail rentre dans le cadre du contrôle passif.

II. EQUATIONS GOUVERNANTES ET CONDITIONS AUX LIMITES

Les équations gouvernantes sont les équations de mouvement, de continuité et de turbulence. Ils ont la forme d'une équation scalaire (Φ) de transport :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_\Phi \Phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u C_\Phi \Phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v C_\Phi \Phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w C_\Phi \Phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial z}\right) + S_\Phi \quad (1)$$

où : $C\Phi$ = coefficient de transition et de convection ;
 $\Gamma\Phi$ = coefficient de diffusion ;
 $S\Phi$ = terme source

La signification de chaque terme de l'équation de transport est représentée par le tableau 1

TABLE I
 DIFFERENTS TERMES DE L'EQUATION DE TRANSPORT.

Φ	Signification	C_Φ	Γ_Φ	S_Φ
u	Vitesse suivant x	1	μ_e	$\rho g - (\partial p / \partial x) + R_x$
v	Vitesse suivant y	1	μ_e	$\rho g - (\partial p / \partial y) + R_y$
w	Vitesse suivant z	1	μ_e	$\rho g - (\partial p / \partial z) + R_z$
k	énergie cinématique	1	μ_t / σ_k	
ε	taux de dissipation	1	$\mu_t / \sigma_\varepsilon$	

μ_e représente la viscosité effective qui est la somme de la viscosité du fluide et la viscosité turbulente μ_t :

$$\mu_e = \mu + \mu_t \quad (2)$$

Les conditions aux limites du problème traité sont données comme suit, comme le montre la voir figure (1) :

On donne une vitesse constante à l'entrée du canal ($U=0.68\text{m/s}$), la vitesse est nulle aux parois inférieure et supérieure du canal et au dessus de l'obstacle. La vitesse transversale, doit être nulle à l'entrée et au niveau des parois :

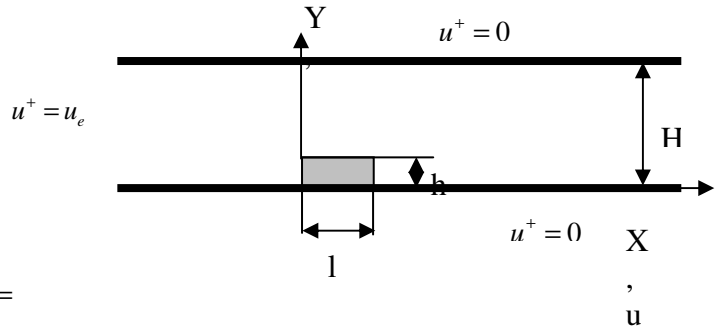


Fig. 1 - Géométrie, domaine physique et conditions aux limites

III. PA 3. RESUET DISCUSSIONS

A. Text Font of Entire Document

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

1) Taux de blocage $h/H=0.25$

Une vue globale et détaillée de la structure de l'écoulement autour de l'obstacle est donnée grâce à une représentation des champs de vitesse. Les figures 2 et 3 donnent les champs de vitesse pour un taux de blocage $h/H=0.25$ et cela pour l'obstacle rectangulaire et rectangulaire arrondi respectivement.

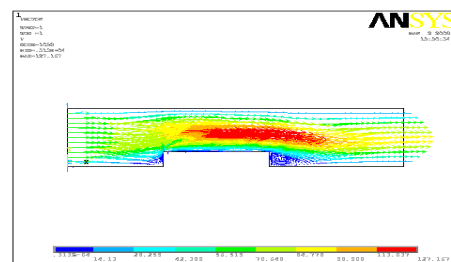


Fig. 2 Champ de vitesse pour l'obstacle rectangulaire ($l/h=8$ et $h/H=0.25$).

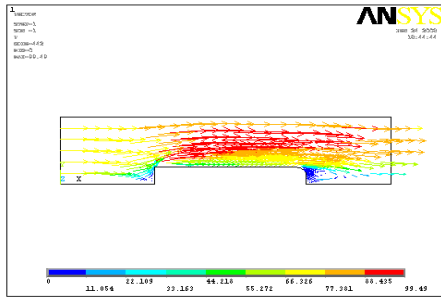


Fig. 3 – Champ de vitesse pour l’obstacle rectangulaire arrondi ($l/h=8$ et $h/H=0.25$).

Ces deux figures montrent que l’écoulement est effectivement accéléré au dessus de l’obstacle (vecteur rouge correspond à une valeur de 0.88m/s pour l’obstacle rectangulaire et une valeur de 1.13m/s pour l’obstacle rectangulaire arrondi).

Les figures 4 et 5 montrent que la zone de recirculation en aval de l’obstacle rectangulaire a des dimensions supérieures à ceux de l’obstacle rectangulaire arrondi.

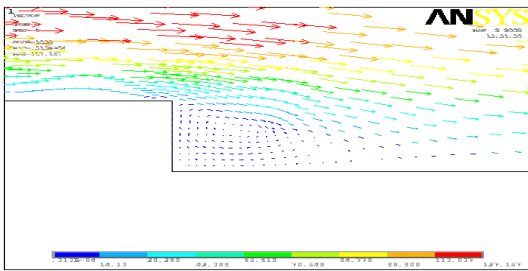


Fig. 4 Zone de recirculation en aval de l’obstacle rectangulaire ($L/h=8$ et $h/H=0.25$).

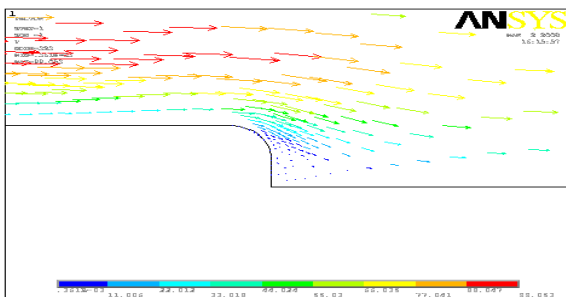


Fig. 5 Zone de recirculation en aval de l’obstacle rectangulaire arrondi ($L/h=8$ et $h/H=0.25$).

2) Taux de blocage $h/H=0.5$

La distribution des champs de vitesse pour les deux modèles d’obstacles et pour le taux de blocage $h/H=0.5$ est donnée par les figures 6 et 7.

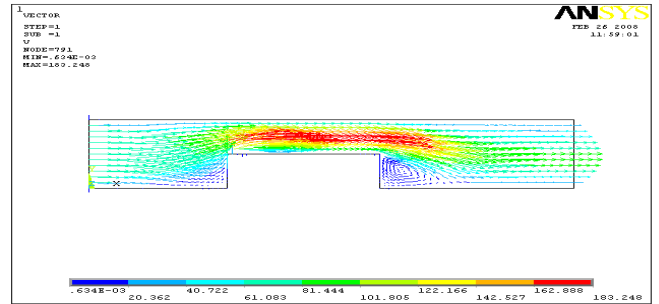


Fig. 6 - Champ de vitesse pour l’obstacle rectangulaire ($l/h=4$ et $h/H=0.5$).

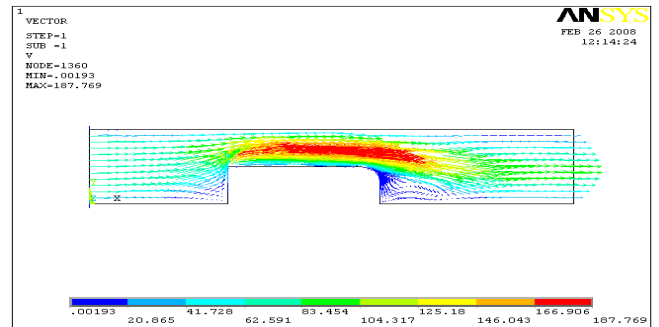


Fig. 7 - Champ de vitesse pour l’obstacle rectangulaire arrondi ($l/h=4$ et $h/H=0.5$).

La figure 8 montre que le tourbillon est toujours généré en aval de l’obstacle rectangulaire. Par contre, l’écoulement reste toujours collé à la paroi de l’obstacle au niveau de l’arête arrondi (voir figure 9) et continue de suivre la paroi. Il apparaît donc deux points importants dans l’écoulement : un point «E» se trouvant juste à la fin de l’arrondissement de l’arête aval, et un point «D» trouvant dans le coin inférieur formé par l’arête de l’obstacle et la paroi inférieure du canal.

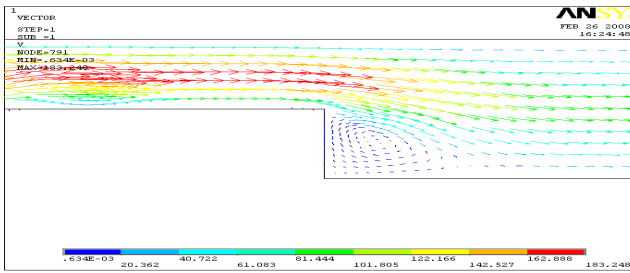


Fig. 8 - Champ de vitesse en aval de l'obstacle rectangulaire ($l/h=4$ et $h/H=0.5$).

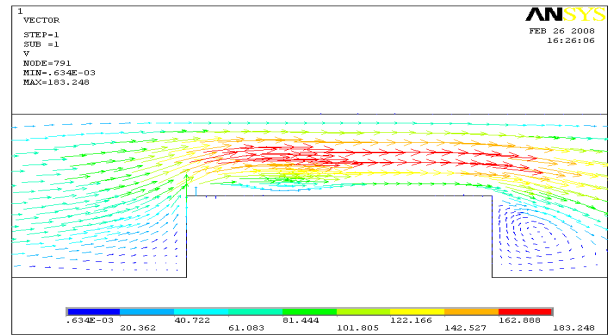


Fig. 10 - Champ de vitesse au dessus de l'obstacle rectangulaire ($l/h=4$ et $h/H=0.5$).

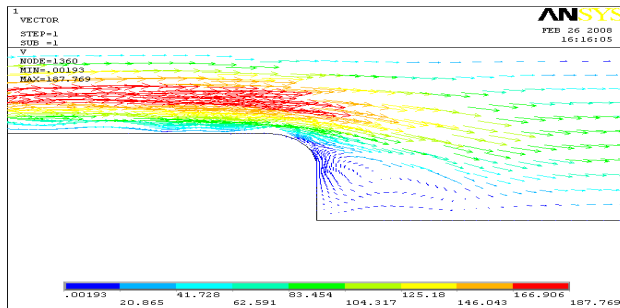


Fig. 9 - Champ de vitesse en aval de l'obstacle rectangulaire ($l/h=4$ et $h/H=0.5$).

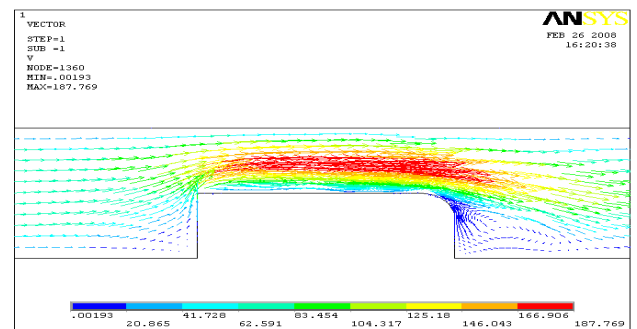


Fig. 11 - Champ de vitesse au dessus de l'obstacle rectangulaire arrondi ($l/h=4$ et $h/H=0.5$).

Les figures 10 et 11 montrent clairement que l'influence de l'arête aval de l'obstacle ne se limite pas dans la zone de recirculation (située bien sur derrière l'arête), mais elle modifie le comportement du fluide même en amont de cette arête. Dans la figure 10, influencé par l'arête amont de l'obstacle, l'écoulement se détache de ce dernier (ligne 0) ; bien au contraire pour la figure 11 qui montre clairement que l'écoulement s'adhère à la paroi supérieure de l'obstacle rectangulaire arrondi. Ce qui permet de dire que l'existence de l'arrondissement au niveau de l'arête aval de l'obstacle ne contrôle pas uniquement la zone de recirculation, mais son effet est élargi jusqu'aux alentours de cet obstacle.

Conclusions

L'écoulement bidimensionnel autour d'obstacles est investigué dans cette étude. L'influence de h/H (hauteur de l'obstacle sur hauteur du canal) sur les longueurs de réattachement est largement discutée ; Un nouveau paramètre est introduit c'est l'effet de la forme arrondie existante au bout de l'obstacle rectangulaire sur les longueurs de réattachement. Ce type de contrôle est appelé contrôle passif.

Les résultats obtenus montrent que l'obstacle rectangulaire arrondi possède les longueurs de réattachement les plus faibles en comparant avec ceux de l'obstacle rectangulaire et cela quelque soit le rapport h/H , et que ces longueurs de réattachement (pour ce modèle d'obstacle) augmente considérablement au fur et à mesure que le rapport h/H devient important.

En plus l'étude nous a montré que si l'obstacle rectangulaire crée un changement brusque de pression en aval de l'obstacle rectangulaire, l'obstacle rectangulaire à bout arrondi crée une variation progressive en aval de ce modèle d'obstacle, ce qui permet de diminuer considérablement les dimensions des longueurs de réattachement.

REFERENCES

- [1] C. Dipankar, M. Bittagopal, Control of flow separation around bluff obstacles by superimposed thermal buoyancy. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 72, May 2014, pp 128-138, 2014.
- [2] F. W. Roos J.TKegelman, Control of coherent structures in reattaching laminar and turbulent shear layers. *AIAA* vol. 24, pp. 1956-1963, 1986.
- [3] M. Kiya., M. Shimizu, O. Mochizuki., Y. Ido, H. Tezuka, Active forcing of an axisymmetric leading-edge turbulent separation bubble. *AIAA*, pp. 32-45. vol. 93 1993.
- [4] M. Kiya., M. Shimizu, O. Mochizuki., Sinusoidal forcing of a turbulent separation bubble. *J. Fluid Mech.* Vol. 342, pp.119-139, 1997.
- [5] L.W.Sigurdson, The structure and control of a turbulent reattaching flow. *J. Fluid Mech.* Vol. 298, pp. 139-165, 1995.
- [6] K.B. Chun , H.J. Sung, Visualization of a locally-forced separated flow over a backward-facing step. *Exp. Fluids* vol. 25, pp. 133-142, 1998.
- [7] H.J. Sung, Y.M. Chung, M.Kiya, Vortex simulation of leading edge separation bubble with local forcing. *Fluid Dyn. Res.* Vol. 18, pp. 99-115, 1996.
- [8] S. Kang, and H.Choi, Suboptimal feedback control of turbulent flow over a backward-facing step. *J. Fluid Mech.vol.* 463, pp. 201–227, 2002.
- [9] S.G. Anders, W.L. Sellers, A.E. Washburn, Active flow control activities at NASA Langley, *AIAA Paper*, 2004-2623, 2004.
- [10] A. Texier, A. Santa Cruz , L. David, Contribution of a short separating plate on the control of the swirling process downstream a half-cylinder. *Exp Thermal Fluid Sci* vol. 26, pp. 565–572, 2002.
- [11] J. Neumann and H. Wengle, DNS and LES of Passively Controlled Turbulent Backward-Facing Step Flow *Flow, Turbulence and Combustion* vol. 71, pp. 297–310, 2003.