

Effet d'un cylindre oscillant sur la convection mixte dans un canal horizontal

Hamza Mahdhaoui ^{1,2}, Hatem Laatar ^{1,2}, Jalloul Balti ²

¹ LETTM - Faculté des Sciences de Tunis, 1060- Tunis, Tunisie

² Faculté des Sciences de Bizerte, Département de Physique 7021- Jarzouna- Tunisie

hatem.laatar@fsb.rnu.tn

hamza.mahdhaoui@gmail.com

Résumé : Ce travail présente une étude numérique d'écoulement laminaire de convection mixte d'air dans un canal horizontal en présence d'un cylindre à section carrée oscillant verticalement. La méthode des volumes finis a été utilisée pour la discrétisation spatiale des équations de l'écoulement, alors que la discrétisation temporelle a été faite par un schéma de type Adams-Bashforth d'ordre deux. Pour la deuxième application, nous avons fixé la valeur du nombre de Reynolds à $Re = 50$. Derrière le cylindre oscillant, l'écoulement devient sinusoïdal et des tourbillons de Von-Karman apparaissent. nous avons effectué une étude paramétrique pour déterminer l'effet de la fréquence F_c (1/6, 1/4 et 1/2) et la vitesse d'oscillation V_m (1/2, 1/3 et 1/4) ainsi que le nombre de Reynolds Re (20, 30, 40 et 50), sur l'amélioration des transferts thermiques. Cette étude montre que l'augmentation de ces paramètres améliore les échanges thermiques mais à des degrés différents.

Mots clés : Convection Mixte, canal horizontal, cylindre carré oscillant, nombre de Nusselt, échappement tourbillonnaire.

1. Introduction

L'écoulement autour d'obstacle oscillant est un phénomène rencontré fréquemment dans de nombreux systèmes technologiques comme: les composants électroniques, les aubes de turbines, les cœurs de réacteurs nucléaires et les plates-formes pétrolières. Beaucoup de travaux, numériques et expérimentaux ont été consacrés à l'étude des écoulements autour d'un cylindre carré fixe.

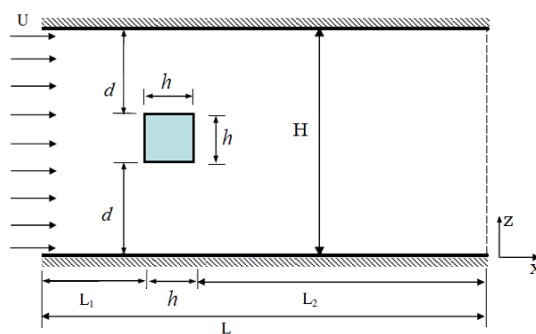


Figure 1: Configuration géométrique étudiée.

L'écoulement autour d'un cylindre met en évidence l'apparition des lâchés tourbillonnaires de von Karman à partir d'un $Re=60$. Cette valeur a été trouvée par Breuer et al. [1] et al. ainsi que par Korichi et L. Oufer [2]. Turki et al. [3] ont analysé numériquement, l'écoulement et le transfert de chaleur par convection mixte dans un canal en présence d'une barre cylindrique et pour des valeurs du nombre de Richardson comprises entre 0 et 0.1 et des nombres de Reynolds variant de 62 à 200. Les résultats obtenus ont montré que l'écoulement devient instable à partir d'une valeur critique de Richardson de 0.13. A.K.Dhiman et al. [4] ont simulé la convection mixte bidimensionnelle d'un écoulement d'air dans un canal horizontal. Les isothermes et les lignes de courant ont été obtenues pour différentes valeurs des nombres adimensionnels Re , Pr et Ri . Ils ont remarqué une coïncidence entre les profils des coefficients de trainée et de portance. À cause de la mobilité des frontières, le problème du

cylindre oscillant est plus difficile à modéliser. Suh-Jenq Yang et al. [5] ont étudié numériquement les caractéristiques de l'écoulement transversal autour d'un cylindre oscillant de section rectangulaire. Les résultats indiquent que les tourbillons détachés sont entraînés par le mouvement du cylindre avec une fréquence évoluant progressivement vers la fréquence du cylindre oscillant.

Dans le présent travail, on s'intéresse à l'étude d'un écoulement autour d'un cylindre carré fixe placé dans un canal horizontal et dont la surface est chauffée à température constante T_0 (figure 1). Le but de cette étude est la compréhension et l'analyse de la structure des champs dynamique et thermique ainsi que la quantification des transferts de chaleur convectif fluide-cylindre

2. Formulation du problème

2.1. Equations gouvernantes

La configuration géométrique ainsi que les dimensions du domaine étudié sont représentées sur la figure 1. L'écoulement est supposé laminaire, incompressible et bidimensionnel (x,z). Le fluide est visqueux et Newtonien. L'effet de la gravité est négligé. Les propriétés thermo-physiques du fluide sont considérées constantes dans la gamme des conditions d'étude. En tenant compte de ces hypothèses, les équations adimensionnelles régissant l'écoulement, s'écrivent comme suit:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 & (1) \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial^2 X} + \frac{\partial^2 U}{\partial^2 Z} \right) & (2) \\ \frac{\partial W}{\partial \tau} + U \frac{\partial W}{\partial X} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial^2 X} + \frac{\partial^2 W}{\partial^2 Z} \right) + \frac{Gr}{\text{Re}^2} T & (3) \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} + U \frac{\partial T}{\partial X} + W \frac{\partial T}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial^2 X} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 Z} \right) & (4) \end{cases}$$

avec les variables adimensionnelles définies comme suit :

$$X = \frac{x}{H}, Z = \frac{z}{H}, \tau = \frac{t}{H/U_0}, U = \frac{u}{U_0}, W = \frac{w}{U_0}, P = \frac{p - p_0}{\rho U_0^2}, T = \frac{\theta - \theta_0}{\theta_c - \theta_0}$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \text{Re} = \frac{U_0 \cdot H}{\nu}, Gr = \frac{g \beta (\theta_c - \theta_0) H^3}{\nu^2}, Ri = \frac{Gr}{\text{Re}^2}$$

2.2 Conditions aux limites:

A l'entrée du canal : $U = 1, W = 0, T = 0$

A la sortie du canal : $\frac{\partial U}{\partial X} = 0, \frac{\partial W}{\partial Z} = 0, \frac{\partial T}{\partial X} = 0$

Aux parois du canal : $U = 0, W = 0, \frac{\partial T}{\partial Z} = 0$

3. Résolution numérique

La méthode des volumes finis a été utilisée pour la discrétisation spatiale des équations de l'écoulement, alors que la discrétisation temporelle a été faite par un schéma du type Adams-Bashforth d'ordre deux. La résolution des équations de Navier-Stokes est réalisée par la méthode de projection.

4. Résultats et discussions

Le problème considéré est relatif à un écoulement d'air ($\text{Pr}=0.71$), dans un canal horizontal en présence d'un cylindre carré de hauteur h . Le canal est de hauteur $H=10h$ et de longueur $L=30h$. Le domaine est caractérisé par un rapport de blocage $h/H = 0.1$. Le cylindre carré est placé initialement sur l'axe du canal entre les abscisses $X = 8h$ et $X=9h$.

le cylindre oscille mis en mouvement avec une vitesse $V(\tau) = V_m \cos(2\pi \Omega \tau)$ où V_m est la vitesse maximale d'oscillation et Ω est la fréquence adimensionnelle d'oscillation. L'écoulement devient sinusoïdal et sa symétrie

initiale est brisée. Pour mieux analyser cette structure périodique, on a représenté sur la figure 2, les lignes de courant instantanées et les variations des isothermes pour une demi-période d'oscillation. Il ya apparition de détachement tourbillonnaire tourbillons de Von-Karman apparaissent. Ces vortex sont plein d'air chaud alternativement issu des faces supérieure et inférieure du cylindre, ils se désagrègent dans le sillage derrière l'obstacle. Ce processus se répète à chaque alternance.

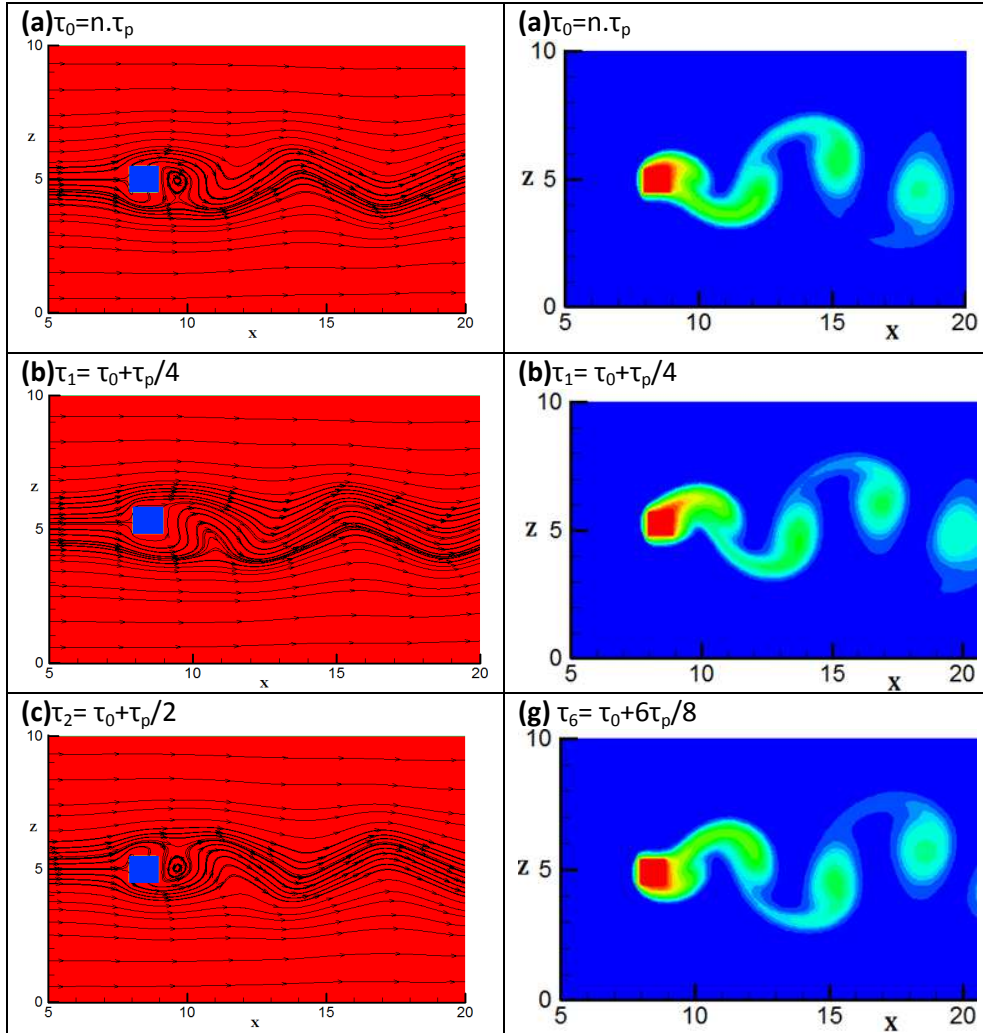


Figure 2: Les variations des lignes de courant et des isothermes durant une demi-période d'oscillation du cylindre pour $Re = 50$, $V_m = 1/3$.

Sur la figure 3, est représentée la comparaison des distributions du nombre de Nusselt local moyenné dans le temps, le long du périmètre du cylindre lorsque celui-ci est fixe puis lorsqu'il est mobile. D'une manière générale, la face frontale AB est le lieu du maximum d'échanges pour les deux configurations. Si on suit son évolution suivant cette face, on remarque que le profil est parabolique avec un axe de symétrie au milieu de la face. L'oscillation du cylindre n'affecte pas la distribution du nombre de Nusselt sur cette paroi. D'autre part, on observe une nette amélioration des échanges thermiques sur les autres faces lorsque le cylindre oscille. Pour les deux cas étudiés, l'allure des profils du nombre de Nusselt sont analogues. On note en particulier, que les minimums d'échanges sont sur la face CD (sous le vent). Sur les faces supérieure BC et inférieure DA, les profils du nombre de Nusselt sont symétriques avec une décroissance spatiale de B vers C dans le premier cas et de A vers D dans le second.

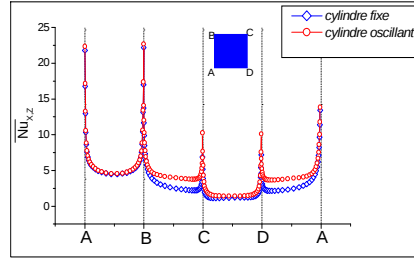


Figure 3: Comparaison des distributions du nombre de Nusselt local moyenné dans le temps, le long du périmètre du cylindre lorsqu'il est fixe et lorsqu'il est mobile

L'effet de la fréquence d'oscillation du cylindre F_c sur le taux d'échange thermique est examiné sur la figure 4. Cette figure représente les profils des variations temporelles du nombre de Nusselt moyen pour trois valeurs de la fréquence d'oscillation $F_c = (1/6, 1/4, 1/2)$ lorsque le nombre de Reynolds $Re=50$. D'une manière générale, l'oscillation du cylindre améliore les échanges thermiques qui varient dans le même sens que la fréquence d'oscillation F_c . Pour quantifier cette amélioration, on introduit le coefficient d'amélioration C_{am} du

nombre de Nusselt définit par :

$$C_{am} = \left(\frac{\overline{Nu_{co}} - \overline{Nu_{cf}}}{\overline{Nu_{cf}}} \right) \cdot 100$$

Où $\overline{Nu_{co}}$ est le nombre de Nusselt moyen dans le cas du cylindre oscillant et $\overline{Nu_{cf}}$ est le nombre de Nusselt moyen dans le cas du cylindre fixe. On note que le coefficient d'amélioration C_{am} est égal à 26.08% pour $F_c = 1/6$, $C_{am} = 37.14\%$ pour $F_c = 1/4$ et $C_{am} = 59.73\%$ pour $F_c = 1/2$.

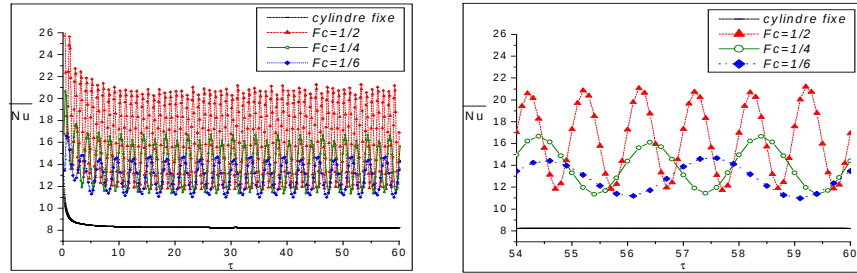


Figure 4: Variations temporelles du nombre de Nusselt moyen pour différentes fréquences d'oscillation ($Re=50$ et $V_m=1/3$).

Pour étudier l'effet de la vitesse d'oscillation du cylindre sur le taux d'échange thermique, on donne à l'amplitude V_m de cette vitesse les valeurs suivantes : $V_m = 1/4, 1/3, 1/2$ et 0, figure 5. Le coefficient d'amélioration C_{am} est égal à 17.67% pour $V_m = 1/4$, $C_{am} = 26.08\%$ pour $V_m = 1/3$ et $C_{am} = 45.52\%$ pour $V_m = 1/2$.

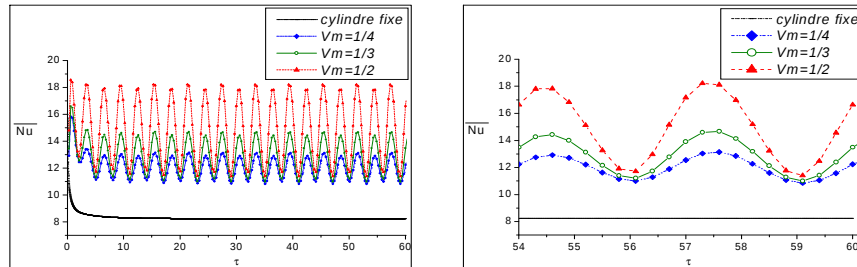


Figure 5: Variations temporelles du nombre de Nusselt moyen pour différentes vitesses d'oscillation ($Re=50$).

La figure 6, représente les profils des variations temporelles du nombre de Nusselt moyen pour les valeurs du nombre de Reynolds Re égales à 20, 30, 40 et 50 lorsque la vitesse maximale d'oscillation $V_m = 1/3$ et la fréquence $F_c = 1/6$. Le coefficient d'amélioration C_{am} est égal à 9.07 % pour $Re = 20$, $C_{am} = 15.42\%$ pour Re

= 30, $C_{am} = 21.37\%$ pour $Re = 40$ et $C_{am} = 26.08\%$ pour $Re = 50$. D'après tous ces résultats, on peut dire que le taux de transfert de chaleur augmente d'autant que le nombre de Reynolds augmente.

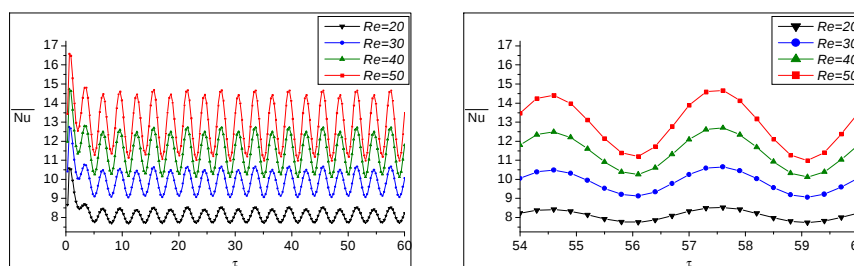


Figure 6: Variations temporelles du nombre de Nusselt moyen pour différents nombres de Reynolds d'oscillation ($V_m=1/3$).

Conclusion

Une étude numérique d'écoulement dans un canal horizontal en présence d'un obstacle oscillant a été entreprise. Cette étude réalisée en convection a permis de conclure que Lorsque le cylindre oscille, le champ thermique épouse l'allure des tourbillons de Von-Karman qui sont remplis par de l'air chaud arraché au cylindre. Pour analyser les échanges thermiques au niveau des facettes de l'obstacle, nous avons déterminé les distributions du nombre de Nusselt le long de son périmètre. Ces résultats montrent que le maximum d'échanges est au niveau de la face frontale et le minimum est au niveau de la face arrière. L'augmentation de la fréquence et la vitesse d'oscillation ainsi que le nombre de Reynolds améliore les échanges thermiques mais à des degrés différents.

Nomenclature

L	Longueur canal, m
H	Hauteur canal, m
h	Longueur obstacle, m
d	Hauteur obstacle, m
T	Température adimensionnelle à l'intérieur du canal
U,V	Composante adimensionnelle horizontale et verticale de la vitesse
X, Z	Coordonnées cartésiennes adimensionnelles
Fc	Fréquence d'oscillation du cylindre
Nu	Nombre de Nusselt
Cam	coefficient d'amélioration

Exposant, Indices

m	maximum
co	cylindre oscillant
cf	cylindre fixe

Références

- [1] M. Breuer, J. Bernsdorf, T. Zeiser, F. Durst, Accurate computations of the laminar flow past a square cylinder based on two different methods: lattice-Boltzmann and finite-volume, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Volume 21, Pages 186-196, 2000
- [2] A. Korichi et L. Oufer, Etude numérique de l'écoulement instationnaire et du de transfert de chaleur autour d'un conduite de section carré dans un canal, *Sciences & Technologie*, N°25, Pages 55-61, 2007
- [3] Said Turki, Hassen Abbassi et Sassi Ben Nasrallah, Two-dimensional laminar fluid flow and heat transfer in a channel with a built-in heated square cylinder, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 42, Pages 1105-1113 2003.
- [4] A.K. Dhiman, R.P. Chhabra etV. Eswaran, Steady mixed convection across a confined square cylinder, *International Communications in Heat and Mass Transfer* Volume 35 Pages 47-55, 2008.
- [5] Suh-Jenq Yang , Teng-Ruey Chang et Wu-Shung Fu, Numerical simulation of flow structures around an oscillating rectangular, *Comput Mech* Volume 35: Pages 342-351, 2004.