

ETUDE DYNAMIQUE DE L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN CYLINDRE PLACÉ PROCHE D'UNE PAROI

S. BENSEDIRA^{1,3}, A. ABDELLAH EL-HADJ², D. SEMMAR³.

¹Laboratoire LMP2M, Université de Médéa, Médéa, 26000 Algérie, bensedirasidali@gmail.com

²Laboratoire LMP2M, Université de Médéa, Médéa, 26000 Algérie, Imp2m_cum@yahoo.fr

³Faculté de sciences ingénierie, Université de Blida, Algérie, djaffarsemmar@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Ce travail, a pour but d'étudier le comportement aérodynamique de l'écoulement autour d'un obstacle cylindrique proche d'une paroi. L'écoulement bidimensionnel en régime laminaire pour un fluide incompressible sans transfert de chaleur, a été simulé. Nous avons utilisé la méthode des éléments finis avec le logiciel ANSYS CFX pour résoudre le système d'équations régissant l'écoulement. L'analyse est faite pour différents nombres de Reynolds ($Re = 1, 10, 20, \dots, 700$) et différentes distances entre le cylindre et la paroi (10D, 15D et 20D). Les lignes de courant, de pression, les contours de vitesses, le nombre de Strouhal et la variation de la portance en fonction du temps dans le cas instationnaire sont déterminés. Nous avons trouvé que l'effet de la paroi sur les différents paramètres de l'écoulement est très important. En particulier, la distance cylindre-paroi influe fortement sur la structure de l'écoulement.

Mots clés : *Ansyes cfx, Cylindre, Sillage, Laminaire, Reynolds, Ecoulement contre d'une paroi.*

NOMENCLATURE

Symboles :

C_D coefficient de traînée
 C_L coefficient de portance
 U_∞ vitesse à l'infini amont, $m\ s^{-1}$
 Re nombre de Reynolds
 St nombre de Strouhal
 P pression, Pa
 D diamètre du cylindre, m
 f fréquence du détachement, Hz
 F force par unité de longueur, $N\ m^{-1}$

Lettres grecques :

ρ masse volumique, $kg\ m^{-3}$
 μ viscosité dynamique, Pa.s

Indices / Exposants :

D traînée
 L portance
 t détachement tourbillonnaire

1. INTRODUCTION

L'écoulement autour d'un cylindre circulaire est un problème fondamental de la mécanique des fluides d'une grande importance. Il est très important un grand nombre d'applications pratiques telles que les écoulements autour des sous-marins, piliers de ponts, les pipelines L'étude des écoulements laminaire et turbulent derrière un cylindre circulaire a fait l'objet de nombreuses études expérimentales et numériques. Selon

l'observation de Sumer (1997), le champ d'écoulement sur le cylindre circulaire est symétrique à de faibles valeurs du nombre de Reynolds. Comme le nombre de Reynolds augment, l'écoulement commence à se détacher derrière le cylindre en provoquant détachement des tourbillons qui l'écoulement devient instationnaire, Pour le $40 < Re < 200$, il y a un détachement des tourbillons laminaires dans le sillage du cylindre qu'on appelle l'allée de

Von-Karman. Le sillage laminaire transite vers la turbulence dans la région de $Re=200$ à 300 . Dans la région sous-critique $300 < Re < 3 \times 10^5$, Le sillage du cylindre circulaire devient complètement turbulent et un décollement de la couche limite laminaire se produit [1-3].

L'identification et l'étude des phénomènes Hydro et aérodynamique qui surgissent dans le sillage d'un obstacle restent un sujet d'intérêt d'actualité dans divers domaines. Donc, le sillage autour des obstacles est d'un intérêt important dans la pratique. En effet la connaissance des structures tourbillonnaires générées derrière ces obstacles et leurs différents régimes est d'une utilité primordiale dans la conception des ouvrages exposés aux écoulements de fluides. Le choix de l'étude des obstacles cylindriques résulte de leurs simplicités géométriques permettant d'avoir des facilités expérimentales et numériques.

Beaucoup de travaux de recherche ont été réalisés pour modéliser l'écoulement autour des obstacles. Pour cela, plusieurs méthodes numériques dans le domaine ont été réalisées et confrontées aux expériences. Pour cette dernière, une large gamme de méthodes mathématiques ont été développées, afin de s'approcher de la réalité de l'écoulement et de fournir le maximum d'informations qui peut se produire.

On peut trouver dans littérature des travaux de recherches sur les écoulements laminaires autour d'un cylindre parallèle à une paroi solide par contre, les écoulements autour d'un cylindre contre une plaque n'ont été étudiés précédemment.

Le but de ce travail est d'étudier numériquement les phénomènes de l'écoulement laminaire stationnaire et instationnaire bidimensionnel, du fluide incompressible et sans transfert de chaleur autour d'un obstacle près d'une paroi. La simulation numérique a été faite à l'aide du code de calcul ANSYS CFX. Pour valider notre modèle, on a confronté nos résultats de simulations avec d'autres résultats numériques de la littérature.

2. MODELE MATHEMATIQUE/METHODE EXPERIMENTALE

2.1. Hypothèses simplificatrices

(a) Ecoulement autour d'un cylindre

Nous supposons, alors, dans le premier Cas : l'écoulement est stationnaire, bidimensionnel, incompressible, visqueux et sans transfert de chaleur.

Compte tenu des hypothèses précédentes, les équations de base régissant l'écoulement sont données respectivement par [4]:

Equation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Les équations de quantité de mouvement écrites suivant x et y sont :

$$\rho(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) \quad (2)$$

$$\rho(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y}) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) \quad (3)$$

Et dans le deuxième cas nous supposons : l'écoulement est transitoire, bidimensionnel, incompressible, visqueux, et sans transfert de chaleur.

Compte tenu des hypothèses précédentes, les équations de base régissant l'écoulement sont données respectivement par [4]:

Equation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Les équations de quantité de mouvement écrites suivant x et y sont :

$$\rho \left(\underbrace{\frac{\partial u}{\partial t}}_{\text{instationnaire}} + \underbrace{u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}}_{\text{convectif}} \right) = \underbrace{-\frac{\partial p}{\partial x}}_{\text{pression}} + \underbrace{\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)}_{\text{terme visqueux}} \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

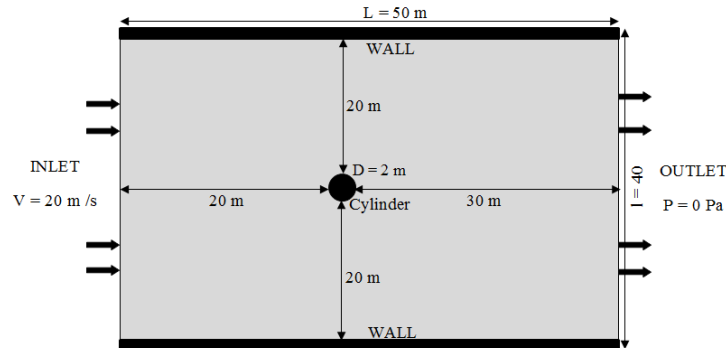


FIGURE 1. Dimensions de domaine et les conditions aux limites pour écoulement autour d'un cylindre

(b) Ecoulement autour d'un cylindre proche d'une paroi solide

Nous supposons, que dans le premier cas : l'écoulement est stationnaire, bidimensionnel, incompressible, visqueux, et sans transfert de chaleur.

Compte tenu des hypothèses précédentes, les équations de base régissant l'écoulement sont les mêmes équations (1), (2) et (3).

Et dans le deuxième cas : L'écoulement est instationnaire, bidimensionnel, incompressible, visqueux, et sans transfert de chaleur.

Compte tenu des hypothèses précédentes, les équations de base régissant l'écoulement sont les mêmes équations (4), (5) et (6).

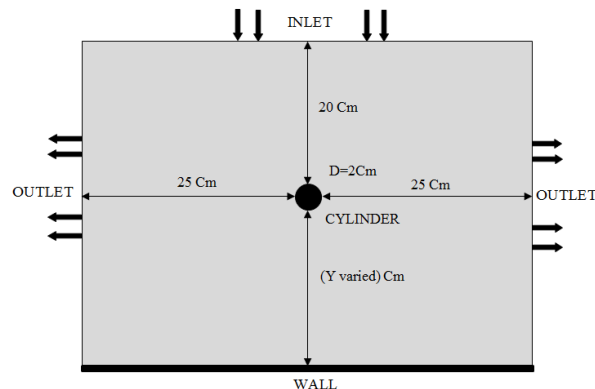


FIGURE 2. Dimensions du domaine et les conditions aux limites pour écoulement autour d'un cylindre proche d'une paroi solide.

3. RESULTATS

3.1. Ecoulement autour d'un cylindre

À partir du TABLEAU 1 on peut constater que l'erreur entre les résultats du cas D et E est inférieure à 1%. Par conséquent, le maillage du cas D est suffisant pour obtenir une solution indépendante de maillage.

Les cas	Nombre des nœuds	Nombre des éléments	f_t [Hz]	St	St
Cas C	14492	7052	1.56605	0.156605	
Cas D	18988	9272	1.61657	0.161657	0.164 [5]
Cas E	26328	12902	1.61657	0.161657	

TABLEAU 1. Valeurs du nombre de Strouhal pour différents Maillages à $Re=100$.

- Régime laminaire instationnaire

On remarque qu'il y a des gros tourbillons qui se développent et ils sont éjectés en alternance parfois vers la paroi supérieure et la paroi inférieure. On peut dire qu'il y a un roulement des tourbillons dans la zone de sillage et non un glissement. Voir FIGURE 3

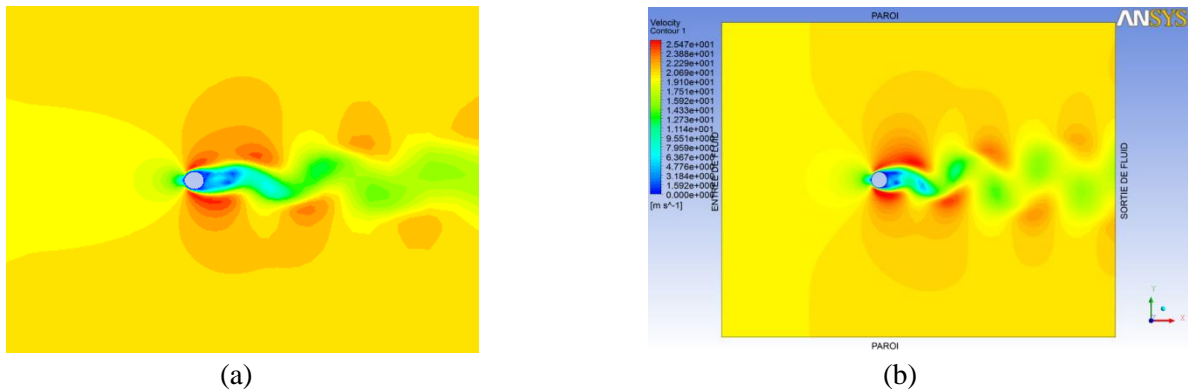


FIGURE 3. Régime laminaire instationnaire pour le cylindre à $Re = 100$.

(a) Simulation numérique [6] (b) Travail actuel

Les coefficients d'aérodynamique dans les cas le régime transitoire; les coefficients de traînée et de portance autour du profil cylindre varient en fonction du temps sous la forme d'une courbe quasi sinusoïdale, voir FIGURE 4.

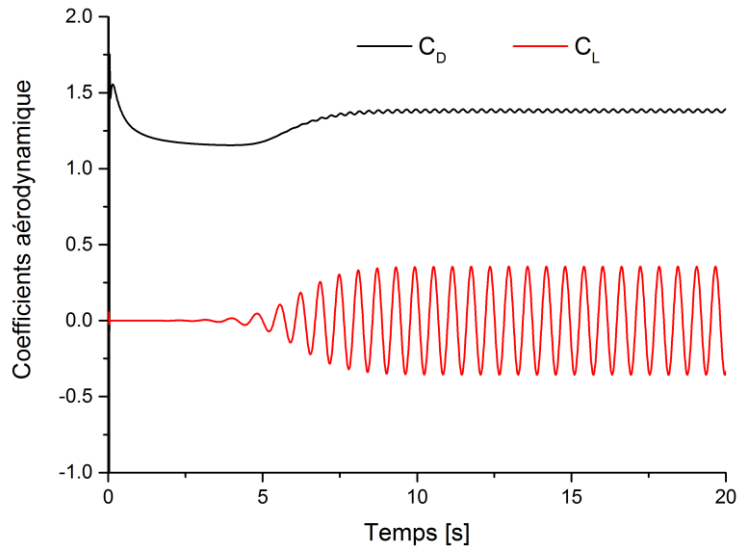


FIGURE 4. Variation du coefficient de Trainée et Portance dans le cas de l'écoulement autour du cylindre.

3.2. Ecoulement autour d'un cylindre impactant d'une paroi solide

Effet de la distance sur l'écoulement en régime instationnaire

D'après la FIGURE 5, nous remarquons dans le cas d'écoulement est instationnaire. Les deux tourbillons restent symétriques jusqu'à l'arrivée à la paroi. Après cela, le fluide commence à se détacher avec $Y = 10 D$, $15 D$. Dans ce cas, les deux tourbillons se séparent. Par contre pour $Y=20D$, le détachement tourbillonnaire commence avant l'arrivée à la paroi.

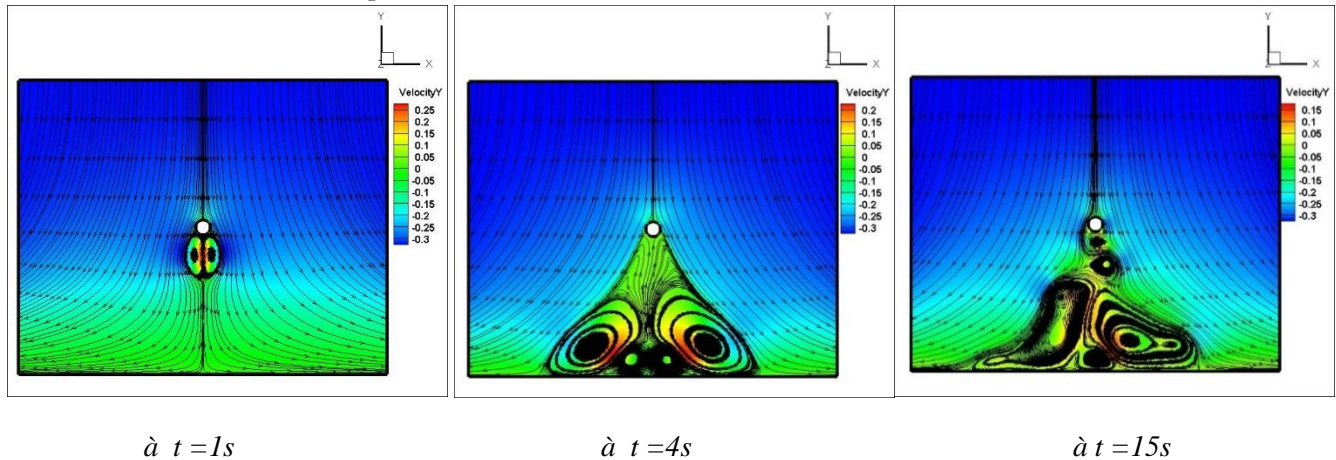


FIGURE 5. Lignes des courants $Re = 450$ avec $Y = 10 D$ pour un écoulement autour d'un cylindre impactant une paroi en régime instationnaire.

Effets de la paroi sur les coefficients aérodynamiques

D'après la FIGURE 6, on constate dans le cas sans paroi et après un certain temps, les courbes de portance et de trainée sont des courbes sinusoïdales périodiques à période et amplitude constante. Par contre, dans le cas avec paroi la période et l'amplitude varient différemment.

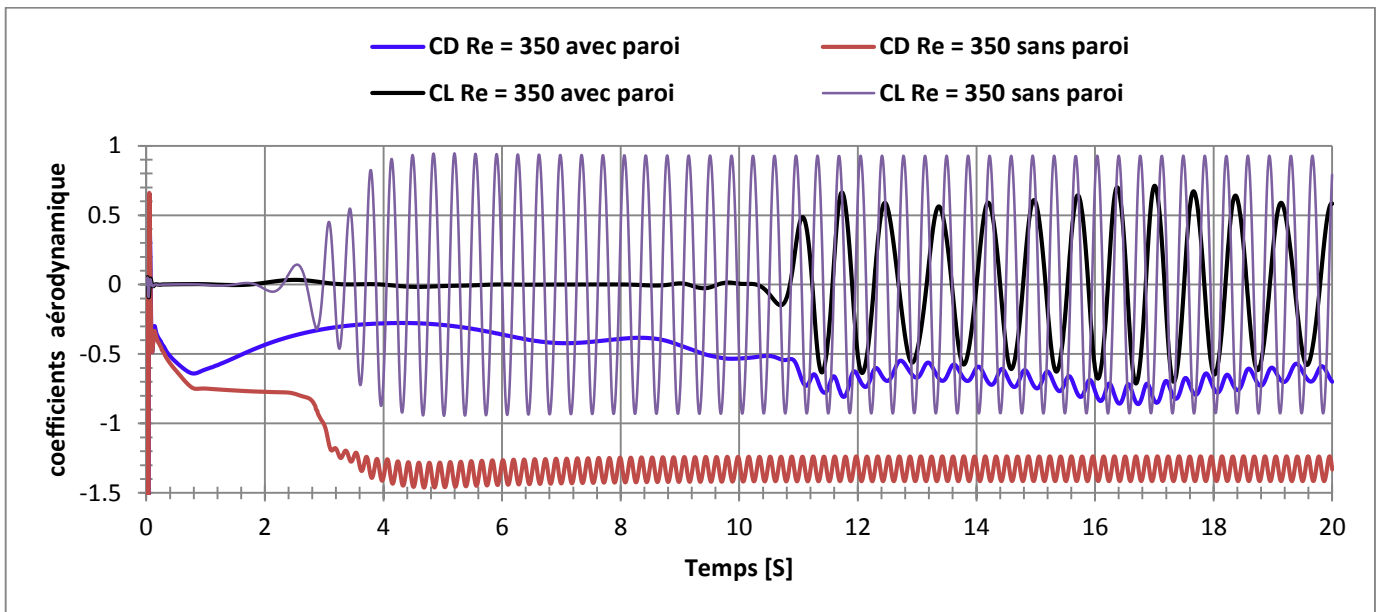


FIGURE 6. Effet de la paroi sur les coefficients aérodynamiques.

4. CONCLUSIONS

L'étude des écoulements laminaires autour d'obstacle près d'une paroi a été l'objectif du présent travail. La simulation numérique par ANSYS CFX a été adoptée pour résoudre les équations d'un écoulement stationnaire et instationnaire d'un fluide Newtonien et incompressible en régime laminaire. Ce travail, nous a permis de tirer de très riches observations pour différents nombres de Reynolds en régime laminaire. En premier lieu, on a confronté nos résultats aux ceux obtenus dans la littérature pour un écoulement autour d'obstacle circulaire sans présence la paroi. À faible $Re < 5$, un écoulement rampant est examiné. Puis à partir de $Re > 50$ l'instabilité commence à se manifester dans la zone de sillage dévoilant un écoulement oscillatoire avec des fréquences variables et des amplitudes progressives dans la géométrie considérée. Ce phénomène d'écoulement est appelé aussi phénomène de l'allée tourbillonnaire de Von-Karman. Ensuite, on a étudié l'effet du nombre de Reynolds et la distance paroi-cylindre sur l'écoulement. On a trouvé que la variation du coefficient de portance est simultanée au détachement tourbillonnaire. Ce détachement est responsable de la création des grands vortex au niveau de la paroi. Au milieu de la zone du tourbillon, la vitesse et la pression sont faibles par rapport à l'extrémité. La zone de transition de l'écoulement laminaire stationnaire à l'écoulement laminaire instationnaire est affectée par la distance entre paroi-cylindre. On a remarqué que l'écoulement garde son allure stationnaire en fonction de la distance cylindre-paroi :

Pour $Y = 10 D$ l'écoulement reste attaché jusqu'à $Re = 200$.

Pour $Y = 15 D$ l'écoulement reste attaché jusqu'à $Re = 150$.

Pour $Y = 20 D$ l'écoulement reste attaché jusqu'à $Re = 100$.

Aussi, on a constaté que :

L'apparition de phénomène de Von-Karman c.-à-d. (le détachement) dépend de la distance de paroi-cylindre :

Pour $Y = 10 D$ l'écoulement commence de détaché à $Re = 450$.

Pour $Y = 15 D$ l'écoulement commence de détaché à $Re = 350$.

Pour $Y = 20 D$ l'écoulement commence de détaché à $Re = 250$.

REFERENCES

- [1] B. M. Sumer, *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures*, World Scientific, Singapore, 1997.
- [2] J.D. Anderson, *Fundamentals of Aerodynamics*, 4th Ed. Mc Grow-Hill, Columbus, USA, 2005.
- [3] M. Braza, Chassaing, P. and Minh, H. H, *The Numerical Study and Physical Analysis of the Pressure and Velocity Fields in the Near Wake of a Circular cylinder*, J. Fluid Mech., 165, 79, 1986.
- [4] Yunus , A. Çengel, John M. Cimbala, *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*, higher education, 1221 Avenue of the Americas, New York, 2006.
- [5] H. Persillon and M. Braza, Physical analysis of the transition to the turbulence in the wake of a circular cylinder by three-dimensional Navier-Stokes simulation, *Journal of Fluid Mechanics*, 365:23-88, 1998.
- [6] ANSYS.Inc, *release 13*, USA, December 2010.