Democratic and Popular Republic of Algeria Ministry of Higher Education and Scientific Research University of BECHAR

Printed from

Scientific Research

http://www.univ-bechar.dz/jrs/

Numerical Simulation of the Flows around two Cylinders of Different Diameters

F. Mebarek-Oudina¹, A. Laouar¹, M. Boudiaf²

¹ Département des sciences de la matière, Faculté des sciences, Université 20 Aout 1955 - Skikda, Route El-Hadaeik, B.P. 26, Skikda, 21000, Algérie. ²Faculté de technologie, Université 20 Aout 1955 - Skikda, Route El-Hadaeik, BP 26, Skikda, 21000, Algérie Corresponding E-mail: oudina2003@ yahoo.fr, <u>f.oudina@hotmail.com</u>

Published on 20 December 2013



Scientific Research

The Editor, on behalf of the Editorial Board and Reviewers, has great pleasure in presenting this number of the Journal of Scientific Research. This journal (ISSN 2170-1237) is a periodic and multidisciplinary journal, published by the University of Bechar. This journal is located at the interface of research journals, and the vulgarization journals in the field of scientific research. It publishes quality articles in the domain of basic and applied sciences, technologies and humanities sciences, where the main objective is to coordinate and disseminate scientific and technical information relating to various disciplines.

The research articles and the development must be original and contribute innovative, helping in the development of new and advanced technologies, like the studies that have concrete ideas which are of primary interest in mastering a contemporary scientific concepts. Actually, the JRS is indexed in **Google Scholar**, **Universal Impact Factor**, **Research Bible**, **DRJI**, **Scientific Indexing Services**, **Global Impact Factor** (with GIF=0,632 in 2012) and Index-Copernicus (with 2012 ICV : 4.87 points). The journal is obtainable in electronic form, which is available worldwide on the Internet and can be accessed at the journal URL:

http://www.univ-bechar.dz/jrs/.

Reviewers board of the Journal.

Pr. KADRY SEIFEDINE (The American University in KUWAIT) Pr. RAZZAQ GHUMMAN Abdul (Al Qassim University KSA) Pr. PK. MD. MOTIUR RAHMAN (University of Dhaka Bangladesh) Pr. MAHMOOD GHAZAW Yousry (Al Qassim University KSA) Pr. RAOUS Michel (Laboratory of Mechanic and Acoustic France) Pr. RATAN Y. Borse (MS G College Malegaon Camp India) Pr. LEBON Frédéric (University of Aix-Marseille 1 France) Pr. MONGI Ben Ouézdou (National Engineering School of Tunis) Pr. BOUKELIF Aoued (University of Sidi Bel Abbes Algeria) Pr. DJORDJEVICH Alexandar (University of Hong Kong) Pr. BENABBASSI Abdelhakem (University of Bechar Algeria) Pr. BOULARD Thierry (National Institute of Agronomic Research France) Pr. LUCA Varani (University of Montpellier France) Pr. NEBBOU Mohamed (University of Bechar Algeria) Pr. LABBACI Boudjemaa (University of Bechar Algeria) Pr. DJERMANE Mohammed (University of Bechar Algeria) Pr. BASSOU Abdesselam (University of Bechar Algeria) Pr. ABOU-BEKR Nabil (Universit of Tlemcen Algeria) Pr. TAMALI Mohamed (University of Bechar Algeria) Pr. ABDELAZIZ Yazid (University of Bechar Algeria) Pr. BERGA Abdelmadjid (University of Bechar Algeria) Pr. Rachid KHALFAOUI (University of Bechar Algeria) Dr. FELLAH Zine El Abiddine Laboratory of Mechanic and Acoustic France) Dr. ZHEN Gao (University of Ontario Institute of Technology Canada) Dr. OUERDACHI Lahbassi (University of Annaba Algeria) Dr. HADJ ABDELKADER Hicham (IBISC - University of Evry France) Dr. KARRAY M'HAMED ALI (National Engineering School of Tunis) Dr. ALLAL Mohammed Amine (University of Tlemcen Algeria) Dr. FOUCHAL Fazia (GEMH - University of Limoges France) Dr. TORRES Jeremi (University of Montpellier 2 France) Dr. CHANDRAKANT Govindrao Dighavka (L. V. H. College of Panchavati India) Dr. ABID Chérifa (Polytech' University of Aix-Marseille France) Dr. HAMMADI Fodil (University of Bechar Algeria)

- Dr. BENSAFI Abd-El-Hamid (University of Tlemcem)
- Dr. BENBACHIR Maamar (University of Bechar Algeria)
- Dr. BOUNOUA Abdennacer (University of Sidi bel abbes Algeria)
- Dr. FAZALUL RAHIMAN Mohd Hafiz (University of Malaysia)
- Dr. TIWARI Shashank Amity University Lucknow (India)

Director of Journal Pr. BELGHACHI Abderrahmane

Editor in Chief Dr. HASNI Abdelhafid

Co-Editor in Chief Pr. BASSOU Abdesselam

Editorial Member

TERFAYA Nazihe BOUIDA Ahmed LATFAOUI Mohieddine MOSTADI Siham

- Pr. BALBINOT Alexandre (Federal University of Rio Grande do Sul Brazil)
- Pr. TEHIRICHI Mohamed (University of Bechar Algeria)
- Pr. JAIN GOTAN (Materials Research Lab., A.C.S. College, Nandgaon India)
- Pr. SAIDANE Abdelkader (ENSET Oran Algeria)
- Pr. DI GIAMBERARDINO Paolo (University of Rome « La Sapienza » Italy)
- Pr. SENGOUGA Nouredine (University of Biskra Algeria)
- Pr. CHERITI Abdelkarim (University of Bechar Algeria)
- Pr. MEDALE Marc (University of Aix-Marseille France)
- Pr. HELMAOUI Abderrachid (University of Bechar Algeria)
- Pr. HAMOUINE Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
- Pr. DRAOUI Belkacem (University of Bechar Algeria)
- Pr. BELGHACHI Abderrahmane (University of Bechar Algeria)
- Pr. SHAILENDHRA Karthikeyan (AMRITA School of Engineering India)
- Pr. BURAK Barutcu (University of Istanbul Turkey)
- Pr. LAOUFI Abdallah (University of Bechar Algeria)
- Pr. Ahmed Farouk ELSAFTY (American University of the Middle East Kuwait)
- Pr. Sohrab MIRSAEIDI (Centre of Electrical Energy Systems Malaysia)
- Pr. SELLAM Mebrouk (University of Bechar Algeria)
- Pr. BELBOUKHARI Nasser (University of Bechar Algeria)
- Pr. BENACHAIBA Chellali (University of Bechar Algeria)
- Dr. ABDUL RAHIM Ruzairi (University Technology of Malaysia)
- Dr. CHIKR EL MEZOUAR Zouaoui (University of Bechar Algeria)

Dr. KAMECHE Mohamed (Centre des Techniques Spatiales, Oran Algeria) Dr. MERAD Lotfi (Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques Tiemcen Algeria)

Dr. SANJAY KHER Sanjay (Raja Ramanna Centre for Advanced Technology INDIA)

Dr. BOUCHAHM Nora (Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides Biskra)

Dr. Fateh Mebarek-OUDINA (University of Skikda Algeria)

Journal of Scientific Research University of Bechar P.O.Box 417 route de Kenadsa 08000 Bechar - ALGERIA Tel: +213 (0) 49 81 90 24

Fax: +213 (0) 49 81 52 44 Editorial mail: <u>jrs.bechar@gmail.com</u> Submission mail: <u>submission.bechar@gmail.com</u> Web: <u>http://www.univ-bechar.dz/jrs/</u>



Numerical Simulation of the Flows around two Cylinders of Different Diameters

F. Mebarek-Oudina¹, A. Laouar¹, M. Boudiaf²

¹ Département des sciences de la matière, Faculté des sciences, Université 20 Aout 1955 - Skikda, Route El-Hadaeik, B.P. 26, Skikda, 21000, Algérie. (Corresponding E-mail: oudina2003@ yahoo.fr, f.oudina@hotmail.com).
² Faculté de technologie, Université 20 Aout 1955 - Skikda, Route El-Hadaeik, BP 26, Skikda, 21000, Algérie

Résumé – Le présent travail consiste à étudier numériquement le phénomène de l'écoulement d'un fluide incompressible bidimensionnel en régime laminaire autour de deux cylindres circulaires de différents diamètres en tandems. Cinq cas d'écoulement selon différents diamètres hydrauliques ont été simulés. Le diamètre D du premier cylindre est fixe, alors que le diamètre du deuxième cylindre changera entre D/4 et 4D, la distance entre les deux cylindres est fixée à L=4D.

À partir de cette simulation, les résultats démontrent clairement l'influence du diamètre sur la structure de l'écoulement, notamment dans la zone d'interférence et la zone du sillage en aval du cylindre. Nous avons visualisé le phénomène de Von-Karman, le comportement des particules fluides est caractérisé par une destruction brusque des tourbillons en aval du sillage. Pour fournir une meilleure compréhension de la dynamique des vortex, la distribution de la pression et de la vitesse en fonction du nombre de Reynolds, Re sont présentées et discutées.

Mots clés : Cylindres, Sillage, Vortex de Von-Karman, CFD.

Abstract – This work consists to study numerically the phenomena of two-dimensional incompressible laminar flows around two tandem circular cylinders of various diameters. Five cases of flow with various hydraulics diameters are simulated. The first cylinder has a fixe diameter D, while the diameter of the second will change between D/4 and 4D, the distance between cylinders is fixed at L=4D. From these simulations, particularly in the area of interference and downstream wake area of the cylinder, the results demonstrate clearly the influence of the diameter on the flow structure. We visualized the phenomenon of Van Karman, the behavior of fluid particles is characterized by sudden destruction of the vortices downstream of the wake. To provide a better understanding of the dynamics of vortex, the pressure distribution contours, velocities depending on the diameter and the Reynolds number, Re are presented and discussed.

Keywords: Cylinders, Wake, Von-Karman Vortex, CFD.

I. Introduction

Les écoulements du fluide autour des obstacles cylindriques ont trouvé une large application dans divers domaines de l'ingénierie par exemple :

- Les piliers des ponts ;

- Les structures des plates - formes pétrolières soumises aux effets du courant de la rivière ou de la mer ;

- Les types de refroidissement dans les échangeurs et les radiateurs ;

- Les structures physiques soumises à l'action du vent, tels que les bâtiments et les câbles de soutien (subvention);

- Les aubes d'une turbine industrielle qui entrainent les bateaux et les obstacles cylindriques et carrés ;

- Les pipelines ;

- Les structures maritimes...etc.

Le choix de l'étude des obstacles cylindriques résulte de leurs simplicités géométriques permettant d'avoir des facilités expérimentales et numériques. Avec le développement technologique actuel, le domaine des écoulements autour des obstacles a connu un renouvellement important. Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés pour modeler ces écoulements.

Les travaux précédents, concernant l'écoulement autour de deux cylindres circulaires, identifient les différents régimes d'interférences et sont basés principalement sur une visualisation expérimentale de l'écoulement. Les investigations numériques telles que celles d'Igarashi (1981), Zdravkovich (1987) et Sumner et al. (2000) ont proposé des classifications de ces régimes. La classification d'Igarashi (1981) est fondée sur des arrangements tandems, similaires à ce cas d'étude. Selon cette classification, six différents régimes d'interférence peuvent être identifiés : (a) les couches de cisaillement qui proviennent de la séparation sur la surface du cylindre ascendant n'est pas rattaché à la surface du cylindre descendant ; (b) les couches de cisaillement qui venaient du cylindre ascendant sont capturées par le descendant, mais il n'y a aucune formation de vortex dans l'espace entre corps ; (c) des vortex symétriques sont formés entre les cylindres ; (d) les vortex symétriques deviennent instables et commencent à se développer dans la proximité du cylindre ascendant s'enroule très près du cylindre descendant ; et (f) les extrémités proches de la région de sillage (région de formation) devant le corps descendant et des vortex sont lâchées dans la région d'espace d'une manière régulière.

Les résultats expérimentaux ont motivé un certain nombre d'études numériques en vue de la reproduction des régimes d'interférence et la réalisation d'un meilleur arrangement de l'interférence d'écoulement. Par exemple, Slaouti et Stansby (1992) ont utilisé une méthode discrète de vortex pour effectuer des simulations bidimensionnelles, alors que Meneghini et al. (2001) ont suivi une investigation bidimensionnelle en éléments finis. Les deux études montrent un bon accord avec les données expérimentales, dans le sens où les régimes d'interférence sont identifiés.

S. Bruno et al. (2010) ont effectué des simulations numériques des états possibles dans les écoulements autour de deux cylindres circulaires en tandems. La relation de l'instabilité secondaire (tri-dimensionnelle) a été étudiée lors de la transition entre les deux régimes. Un très bon accord est prouvé entre la pratique et les résultats proposés dans la littérature.

M. Mahbub Alam et J.P. Meyer (2011) ce sont intéressés à l'effet du nombre de Reynolds sur les forces induites par l'écoulement autour de deux cylindres en tandems. L'effet du nombre de Reynolds, Re sur la fluctuante portance, la force de traînée et les nombres de Strouhal, St du cylindre aval et des deux cylindres en tandems sont étudiés expérimentalement.

R.d. Rajaona et al (2011) ont présenté une étude expérimentale de l'écoulement autour de deux cylindres en tandems. Suivant un mouvement uniformément accéléré et décéléré dans une cuve de visualisation, les lignes de la vague présente une zone de turbulence qui s'effondre un peu avant la phase de décélération.

K. Fallah et al. (2011) ont fait une simulation numérique de l'écoulement autour de deux cylindres circulaires rotatifs en arrangement décalés, basée sur la méthode Lattice Boltzmann par approche-temps de relaxation multiple pour faible nombre de Reynolds, Re. Les résultats obtenus montrent que le coefficient de traînée du cylindre principal a une faible tendance par rapport à l'angle d'incidence et au-delà de certaines augmentations d'angle progressivement.

L'étude de l'écoulement autour de deux cylindres peut alors donner des indications sur une meilleure conception de la dynamique des tourbillons et les forces appliquées sur un ensemble plus complexe. Le présent travail a pour objectif d'avoir une compréhension de la dynamique du champ d'écoulement et de sa structure laminaire autour de deux cylindres, à partir d'une simulation numérique bidimensionnelle instationnaire. Des tourbillons connus sous le nom vortex de Von Karman se transforment entre et autour des deux cylindres.

II. Géométrie & Modèle Mathématique

Les deux cylindres de différents diamètres sont modélisés en 2-D par un cercle de rayon R=0.05 m, situé dans le domaine représenté par un rectangle avec une entrée et une sortie où l'axe de rotation des cylindres est perpendiculaire au sens de l'écoulement. (Cf. la figure 1). Pendant la résolution du problème, on suppose que les cylindres soient en arrangements tandems avec un diamètre fixe du premier cylindre, D et le diamètre du deuxième cylindre prendra les valeurs suivantes D/4, D/2, D, 2D, 4D. La distance, L entre les centres des deux cylindres est constante L=4D.



Figure 1. Représentation schématique du problème étudié.

Le mouvement des fluides est gouverné par les équations de la conservation de masse et de la quantité de mouvement. L'équation de continuité d'un écoulement incompressible est donnée par :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Les équations de Navier-Stokes bidimensionnelles d'un écoulement transitoire, laminaire et incompressible sous forme adimensionnelle sont :

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$$
(2)

où u_i est la composante de vitesse le long de x_i coordonnés de direction et Re est le nombre Reynolds. Pour un système bidimensionnel, l'équation (2) représente les composantes suivant x et y des équations de la quantité de mouvement pour les valeurs de x_i sont x et y, et u_i sont u et v respectivement.

L'écoulement est caractérisé par les nombres adimensionnels suivants :

Le nombre de Reynolds :
$$Re = \frac{u_{\infty}D_h}{v}$$
 (3)

Coefficient de pression :
$$Cp = \frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2}\rho u^2_{\infty}}$$
 (4)

Où u_{∞} est la vitesse à l'entrée, D_h est le diamètre hydraulique (égal au diamètre du tube circulaire, D), vest la viscosité cinématique, le temps et la pression adimensionnels sont définis respectivement par : $t = D/u_{\infty}, P = (P - P_{\infty})/\rho u_{\infty}^2$.

Les équations (1) et (2), munies de conditions initiales et de conditions aux limites appropriées, forment les équations d'état du problème que l'on appellera modèle de Navier-Stokes.

Pour notre cas d'étude, les conditions initiales et aux limites sont données comme suit :

à l'entrée :
$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0$$
, $u = u_{\infty}, v = 0$.
à la sortie : $P = P_{\infty}$, $u = 0, v = 0$
à la paroi supérieure et inférieure :
 $P = P_{\infty}$, $u = 0, v = 0$
à la surface des cylindres :
 $u = 0, v = 0$

L'écoulement du fluide incompressible obéit aux équations de Navier-Stockes. L'adimensionnalisation de ces équations montre que l'écoulement dépend du nombre de Reynolds et les conditions aux limites et initiales. Ces conditions peuvent changer selon le choix du fluide et de l'application pratique, aérohydrodynamique, échangeur ou maritime et la distance entre les centres des deux cylindres etc.....

Un maillage fin est utilisé autour des deux cylindres avec un pas $\Delta l=0.01$. Ainsi, un maillage tri-diagonal est utilisé pour un pas $\Delta l=0.03$, où on obtient 35 852 nœuds. Les simulations numériques ont été effectuées dans un domaine bidimensionnel à l'aide du code de calcul CFD (ANSYS).

III. Résultats & Discussions

III.1. Ecoulement autour d'un seul cylindre

On peut résumer les principaux types d'écoulements incompressibles autour d'un seul cylindre en fonction du nombre de Reynolds dans le tableau ci-dessous :



Tableau 1 : Différents régimes d'écoulement autour d'un seul cylindre.

III.2. Écoulement autour de deux cylindres

On peut distinguer plusieurs configurations à l'origine de l'interaction de sillage entre deux cylindres:

- Cylindres côte à côte (verticaux).
- Cylindres en tandems.
- Cylindres en incidence quelconque.

La simulation d'un écoulement laminnaire bidimensionnel et incompressible autour de deux cylindres de differents diamétres a été réalisée, en changant le diamétre du deuxieme cylindre entre D/4 et 4D. fixant la distance entre les centres des deux cylindres L=4D et le nombre de Reynolds, Re=200. Le fluide utilisé dans ce travail est l'air.

En analysant les résultats trouvés dans la référence [6] pour deux cylindres verticaux et en tendams, du point vu formation des vortex, on aboutit à :

Les résultats sont semblables à ceux trouvés par Igrashi en 1981.

Formation de deux vortex symétriques pour une distance, 4D entre les cylindres ;

La formation du vortex débutra avec une distance, L=2D entre les centres des deux cylindres ;

Pour deux cylindres en arrangement vertical, la symétrie apparait clairement pour une distance \geq 4D avec deux sillages symétriques.

Dans la présente étude, nous vérifierons les résultats pour deux cylindres de différents diamètres et une distance fixe L=4D entre les deux cylindres.



Figure 2: Traces de particules, pour le cas diamétre du deuxième cylindre (a) : D/4, (b) : D/2, (c) : 2D, (d) : 4D. à un temps fixe.

Les traces de particules representées dans la figure 2.a. montrent l'existence d'un seul tourbillon entre les deux cylindres de faible vitesse ainsi qu'un sillage instable en aval des cylindres.

Pour le cas où le diamétre du deuxiéme cylindre égal D/2 (fig. 2.b). Nous remarquons que ce cas est semblable au premier (diamétre =D/4) mais la vitesse sur les côtés du cylindre amont est maximale et plus intensive (zone en couleur rouge).

Pour le cas des cylindres de mêmes diamètres, l'écoulement est symétrique par rapport à l'axe longitudinal entre les deux cylindres, présentant deux tourbillons attachés au cylindre amont. On observe deux décollements à chaque côté du cylindre ainsi que la formation d'un petit tourbillon derrière le cylindre aval.

En s'éloignant du cylindre la vitesse longitudinale devient presque nulle, le sillage en aval des cylindres est plus stable et ordonné par rapport aux cas précédants.

A partir de la figure 2.d, un petit tourbillon apparait entre les deux cylindres. Derrière le cylindre aval, la figure montre clairement le détachement de deux tourbillons anti symétriques, formant l'allée tourbillonnaire de Von Karman, en s'éloignant les vortex sont détruits et l'écoulement devient stable.

Également, la taille de tourbillon augmente lorsque le diamètre du deuxiéme cylindre croît. Les cas, diamètre

du deuxiéme cylindre égal D/4 et 4D sont presque semblables au cas d'un seul cylindre, puisque l'influence du cylindre aval, dans le cas D/4 et le cylindre amont, dans le cas (4D) peuvent être négligés devant l'autre cylindre.



Figure 3. Coefficient de pression en fonction du nombre Reynolds pour différentes positions désignées par les nœuds n1, n2, n3 (cas de deux cylindres en tandems, même diamètre).



Figure 4. Vitesse moyenne en fonction du nombre de Reynolds pour différentes positions désignées par les nœuds n1, n2, n3 (cas de deux cylindres en tandems de même diamètre).

Dans la figure 3, la croissance du coefficient de pression avec la croissance du nombre de Reynolds est clairement distincte. Cette étude a été effectuée en amont du premier cylindre (n1), entre (n2) et en aval (n3) des deux cylindres. Pour les nœuds situés entre et en aval des cylindres, l'évolution du coefficient de pression est persistante.

Dans la figure 4, l'évolution de la vitesse moyenne en fonction du nombre de Reynolds dans les trois positions désignées par n1, n2 et n3, est présentée.

Dans cette figure, la croissance de la vitesse avec l'augmentation du nombre de Reynolds est significative.

Pour les nœuds n1 et n3 la croissance est monotone et presque identique. Alors, que la vitesse est inferieure

dans la zone amont des cylindres, où la courbe de n2 est au-dessous de celles de n1 et n3.

IV. Conclusion

L'écoulement autour de deux cylindres en tandems est modélisé en 2D avec l'axe de rotation du cylindre perpendiculaire au sens de l'écoulement.

Pour une distance fixe entre les centres des deux cylindres, cinq cas d'écoulement ont été simulés, selon différents diamètres hydrauliques, où le diamètre, D du premier cylindre est fixe et le diamètre du deuxième cylindre changera entre D/4 et 4D, en fonction du nombre de Reynolds.

Pour plusieurs nombres de Reynolds, les différents régimes d'écoulement autours d'un seul cylindre sont distingués et présentés dans le tableau 1 ; afin de validé nos résultats avec ceux trouvés dans la littérature.

A partir de cette étude, on aboutit aux conclusions suivantes :

- Chaque cas est caractérisé par un système de vortex spécifique ;
- Croissance de la pression avec la croissance du nombre de Reynolds ;
- Croissance de la vitesse avec la croissance du nombre de Reynolds ;
- Le changement du diamètre engendra un changement de la structure d'écoulement ainsi, la formation des vortex ;
- Pour tous les cas étudiés, les vortex formés dans la région aval des deux cylindres sont caractérisés par une destruction brusque ;
- Croissance de la taille des vortex avec l'augmentation du diamètre ;
- Pour un faible diamètre du premier ou du deuxième cylindre, les résultats sont presque identiques à ceux trouvés autour d'un seul cylindre;

Bien que notre étude soit bidimensionnelle, on s'attend à ce qu'une étude tridimensionnelle que nous recommanderons confirmera ces résultats.

Acknowledgements

Ce travail a été effectué dans le cadre d'un projet de fin d'étude, Master, soutenu au sein de l'université de Skikda, Algérie.

Les auteurs remercient le soutien financier de ce travail par le Ministère Algérien de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Références

[1] B. S. Carmo, J. R. Meneghini, et S. J. Sherwin, "Possible states in the flow around two circular cylinders in tandem with separations in the vicinity of the drag inversion spacing", Phys fluids, Vol. 22, 054101, 2010. http://dx.doi.org/10.1063/1.3420111.

- [2] K. Fallah, A. Fardad, N. Sedaghatizadeh, E. Fattahi and A.Ghaderi, "Numerical Simulation of Flow Around Two Rotating Circular Cylinders in Staggered Arrangement by Multi-Relaxation-Time Lattice Boltzmann Method at Low Reynolds Number", World Applied Sciences Journal, Vol. 15 (4), 2011, pp.544-554.
- [3] T. Igarashi, "Characteristics of the flow around two circular cylinders arranged in tandem". Bulletin of JSME, Vol. 24 (188), 1981, pp.323–331.
- [4] J. R. Meneghini, F. Saltara, C.L.R. Siqueira, Jr. J.A Ferrari, "Numerical simulation of flow interference between two circular cylinders in tandem and side-by-side arrangements", Journal of Fluids and Structures, Vol. 15, 2001, pp.327–350.
- [5] M. Mahbub Alam and j.p. Meyer, "Reynolds number effect on flow-induced forces on two tandem cylinders", Proceedings of the international conference on mechanical engineering (ICME) 18-20, Dhaka Bangladesh, 2011.
- [6] F. Mebarek-Oudina, A. Khalfaoui, M. Petit et S. Harmaline, "Simulation numérique d'un écoulement autour de deux cylindres circulaires", Proceedings of the 2nd international seminar on new and renouvelable energies, Ghardaïa – Algérie, 15- 17 Octobre 2012.
- [7] R. d. Rajaona, L. Rakotondrajaona et E. Rasolomanana, "Interaction entre deux cylindres tractes sous une surface libre", AFM maison de la Mécanique, Courbevoie, 2011. http://irevues.inist.fr/utilisation.
- [8] A. Slaouti, P.K. Stansby, "Flow around two circular cylinders by the random-vortex method", Journal of Fluids and Structures, Vol.6, 1992, pp.641–670.
- [9] D.Sumner, S.J. Price, M.P. Païdoussis, "Flow-pattern identification for two staggered circular cylinders in crossflow". Journal of Fluid Mechanics, Vol. 411, 2000, pp.263–303.
- [10] M.M. Zdravkovich, "The effects of interference between circular cylinders in cross flow", Journal of Fluids and Structures, Vol.1, 1987, pp. 239–261.

Journal of Scientific Research University of Bechar

P.O.Box 417 route de Kenadsa 08000 Bechar - ALGERIA Tel: +213 (0) 49 81 90 24 Fax: +213 (0) 49 81 52 44 Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com Submission mail: submission.bechar@gmail.com Web: http://www.univ-bechar.dz/jrs/