



**République Algérienne Démocratique et populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et**

**De la Recherche Scientifique**

**Université SAAD DAHLEB Blida 1**

**Faculté de la Technologie**

**Département de Génie Mécanique**

Mémoire Présenté

Pour l'obtention de diplôme

**Master**

En

« Génie mécanique »

Option :

« Energétique »

Titre :

**ETUDE HYDRAUDYNAMIQUE D'ÉCOULEMENT  
AUTOUR D'UN OBSTACLE AVEC RAINURE**

Proposé et dirigé par **Mr.: Bensedira SidAli**

Réalisé par : **Birane Hamza & Djedaimi Tarek**

*Promotion : 2021/2022*

# Remerciements

---

*Toute la gratitude et le merci à Dieu notre créateur qui nous a donné la force pour effectuer et achever ce travail.*

*Ainsi nos parents qui nous aident.*

*Nous tenons à remercier en premier lieu notre encadreur*

*Mr :**Bensedira Sidali***

*Pour avoir accepté de diriger notre travail,*

*Pour ses précieux conseils, pour son esprit d'ouverture et sa disponibilité. Grâce à lui, notre travail s'est déroulé.*

*Nos vifs remerciements vont également aux **membres de***

***jury***

*qui ont accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions toutes personnes qui nous ont aidés de près*

*ou de loin à la finalisation de ce travail, nous tenons à leur exprimer notre vive gratitude.*

*Enfin nos remerciements à **tous les enseignants** qui ont contribué à notre formation à l'université*

***Saad Dahlab Blida1.***

***Hamza & Tarek***

# Liste des figures

---

## Chapitre 1

Figure I.1.....	11
Figure I.2.....	13
Figure I.3.....	14
Figure I.4.....	15

## Chapitre 2

FigureII.1.....	17
Figure II.2.....	18
Figure II.3.....	19
Figure II.4.....	19
Figure II.5.....	20
Figure II.6.....	21

## Chapitre 3

Figure III.1 .....	26
Figure III.2 .....	27
Figure III.3 .....	30
Figure III.4 .....	31
Figure III.5 .....	32
Figure III.6 .....	32
Figure III.7 .....	34
Figure III.8 .....	34
Figure III.9 :.....	35
Figure III.10 .....	35
Figure III.11 .....	36
FigureIII.12 .....	36
Figure III.13 .....	37
Figure III.14 .....	38
Figure III.15 .....	40
Figure III.16 .....	41
Figures III.17 .....	42
Figures III.18.....	43
Figures III.19.....	44

# Liste des figures

---

Figures III.20.....	45
Figures III.21.....	46
Figures III.22.....	47
Figures III.23.....	48
Figures III.24.....	48
Figures III.25.....	49
Figures III.26.....	49
Figures III.27.....	50
Figures III.28.....	50
Figures III.29.....	51
Figures III.30.....	51
Figures III.31.....	52
Figures III.32.....	52
Figures III.33.....	53
Figures III.34.....	53
Figures III.35.....	54
Figures III.36.....	54
Figures III.37.....	55
Figures III.38.....	55
Figures III.39.....	56
Figures III.40.....	56
Figures III.41.....	57
Figures III.42.....	57
Figures III.43.....	58
Figures III.44.....	58
Figures III.45.....	59
Figures III.46.....	59



## Liste des tableaux

---

<b>Tableau III.1</b> .....	34
<b>Tableau III.2</b> .....	34
<b>Tableau III.3</b> .....	36
<b>Tableau III.4</b> .....	36

# Liste d'abréviations

---

---

Re	Nombre de Reynolds
x,y	Les coordonnées cartésiennes
$\mu$	Viscosité dynamique [kg/m.s]
CD	coefficient de traînée
CL	coefficient de portance
P	masse volumique, kg m <sup>-3</sup>
N-S	Navier-Stockes.
CFD	ComputationalFluid Dynamics.
EDP	Equation de dérivé partielle.
D	cylinder diameter, [m]
$\square$	thermal conductivity, [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
P	non-dimensional pressure, [-]

# Le sommaire

---

Page de garde	
Dédicace	
Remerciement	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviations	
Sommaire	
Résumé	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre1</b> recherche bibliographique	
Introduction.....	3
I.1 Notions de base sur la mécanique des fluides .....	13
I.1.1 Concept de la mécanique des fluides .....	13
I.1.2 Définition d'un fluide.....	14
I.2 Variables fondamentales: .....	14
I.2.1 pression.....	14
I.2.2 La masse volumique.....	15
I.2.3 La viscosité .....	15
I.2.4 Vitesse de l'écoulement.....	16
I.3 Nombre de Reynolds.....	16
Conclusion .....	18
<b>CHAPITRE2</b> Notions de base & Formulations mathématiques	
II.1 Introduction.....	19
II.2 Ecoulement autour d'un cylindre.....	19
II.2.1 Introduction.....	19
II.2.2 Ecoulement autour d'un cylindre circulaire .....	20
II.2.3 Différents régimes de l'écoulement.....	20
II.2.3.1 Régime d'écoulement rampant( $Re < 5$ ).....	20
II.2.3.2 Régime laminaire stationnaire ( $5 \leq Re \leq 48$ ).....	21
II.2.3.3 Instationnarités bidimensionnelles ( $48 \leq Re \leq 180$ ).....	21
<b>II.2.3.4</b> Instationnarités tridimensionnelles et apparition de la turbulence ( $180 \leq Re \leq 1200$ ).....	22
II.3 Passage d'un régime a l'autre.....	23

# Le sommaire

---

II.4 Notions sur l'écoulement autours des obstacles.....	23
II.5 Domaines d'application.....	24
II.6 Formulations mathématiques.....	24
II.6.1 Equation de continuité.....	24
II.6.2 Equations de quantité de mouvement.....	25
II.5.3 Force de portance.....	27
II.5.4 Force de <u>traînée</u> .....	27
Conclusion .....	27
<b>Chapitre 3 résultats &amp; discussion</b>	
Introduction .....	28
III.1 Présentation du logiciel de calcul .....	29
III.2 La méthode des éléments finis .....	30
III.3 Choix du type de maillage.....	31
III.3.1-Maillage structuré( quadra/hexa).....	31
III.3.2-Maillage non structuré (tri /tétra).....	32
III.3.3-Maillage hybride .....	32
III.4 Création de la géométrie.....	33
III.5 Maillage (CFX-Mesh) .....	35
III.6 CFX-pre.....	40
III.7 CFX-Solveur.....	41
III.8 CFX-post.....	42
III.9Résultats et discussions .....	43
Conclusion .....	63
Conclusion Générale.....	64
Referance bibliographique .....	65

# Résumé

---

## Résumé :

Ce travail de mémoire vise à étudier le comportement hydrodynamique de l'écoulement du fluide autour d'un obstacle cylindrique.

Pour avoir plus d'information sur le phénomène de l'écoulement bidimensionnel en régime laminaire pour un fluide incompressible sans transfert de chaleur, Nous avons utilisé la méthode des éléments finis pour un nombre de Reynolds égal à 200, avec le logiciel ANSYS CFX pour résoudre le système d'équations régissant l'écoulement. L'effet des rapports géométriques représentant la longueur du rainure ( $L/D$ ) et la largeur ( $G/D$ ) sur le comportement hydrodynamique du fluide Les portances et les trainées moyennent ; les contours de vitesses et de verticité, la variation de coefficient de la portance et la trainée en fonction du temps dans le cas instationnaire sont déterminés.

## Abstract :

This thesis aims to study the hydrodynamic behavior of the fluid flow around a cylindrical obstacle.

To have more information on the phenomenon of two-dimensional flow in laminar regime for an incompressible fluid without heat transfer, we used the finite element method for a Reynolds number equal to 200, with the ANSYS CFX software to solve the system of equations governing the flow. The effect of the geometric ratios representing the groove length ( $L/D$ ) and width ( $W/D$ ) on the hydrodynamic behavior of the fluid is investigated. The lift and drag contours are averaged; the variation of the coefficient of lift and drag as a function of time in the unsteady case are determined.

## ملخص:

تهدف هذه الرسالة إلى دراسة السلوك الهيدروديناميكي لتدفق السوائل حول عائق أسطواني. للحصول على مزيد من المعلومات حول ظاهرة التدفق ثنائي الأبعاد في النظام الرقائقي لسائل غير قابل للضغط بدون نقل حرارة ، استخدمنا طريقة العناصر المحدودة لرقم رينولدز يساوي 200 ، مع برنامج ANSYS CFX لحل نظام المعادلات التي تحكم تدفق. تأثير النسب الهندسية التي تمثل طول الأخدود ( $L / D$ ) والعرض ( $G / D$ ) على السلوك الهيدروديناميكي للسائل يعني المصاعد والسحب ؛ يتم تحديد ملامح السرعة والعمودية ، وتغير معامل الرفع والسحب كدالة للوقت في الحالة غير المستقرة.

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

La mécanique des fluides fait partie des principaux domaines de la formation des ingénieurs, de la mécanique et de la mécanique des milieux continus. Il se divise en plusieurs sous-catégories, l'étude du mouvement des fluides pratiquement incompressibles (tels que les liquides et particulièrement l'eau), ou les gaz à faible vitesse se réfère généralement à l'hydrodynamique.

L'écoulement autour d'un cylindre circulaire est un problème classique de mécanique des fluides. Les applications de l'écoulement incompressible autour des obstacles sont nombreuses dans l'énergétique, l'aérospatiale, le génie civil, le génie chimique, l'hydraulique, l'aménagement du territoire, la médecine, etc.

Le choix de l'étude des obstacles résulte de leurs simplicités géométriques permettant d'avoir des facilités expérimentales et numériques. Plusieurs expériences dans le domaine ont été réalisées et confrontées aux méthodes numériques. Les procédés industriels font souvent intervenir des systèmes de filtration, des échangeurs thermiques, des mélangeurs et bien d'autres systèmes comprenant des écoulements autour d'obstacles qui constituent un problème de base de la mécanique des fluides. La compréhension et la maîtrise de ces écoulements sont donc des points de première importance. Le matériau, la forme, les dimensions de l'obstacle, leur mouvement, le confinement ont une influence sur l'écoulement et sa morphologie.

Pour notre cas, diverses méthodes mathématiques ont été développées pour estimer la réalité de l'écoulement et fournir la plus grande information possible. Dans cet exemple, nous avons utilisé ANSYS-CFX Code, un outil de simulation numérique puissant et de haute qualité, pour simuler l'écoulement autour d'un obstacle cylindrique. Ce code de calcul trouve de plus en plus sa place dans différents domaines de l'industrie, surtout dans l'option des écoulements de fluide et transfert de chaleur.

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. La simulation numérique a été faite à l'aide du ANSYS CFX code..

# Introduction Générale

---

## **Plan de travail:**

Pour une bonne présentation de notre mémoire, nous avons suivi la méthodologie qui s'organise autour de trois chapitres et une conclusion, nous avons commencé tous d'abord par une recherche bibliographique et exposer les définitions de base de la mécanique des fluides dans le premier chapitre.

- Le deuxième chapitre présente les formulations mathématiques, où on expose les équations mathématiques régissant l'écoulement bidimensionnel d'un fluide incompressible autour d'un obstacle.
- Le troisième chapitre consacré à une résolution numérique et une description des étapes de notre simulation par ANSYS.
- Une conclusion générale est donnée à la fin de ce mémoire.

# Chapitre 01

| Recherche bibliographique |



# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

## Introduction :

Les écoulements laminaires autour des obstacles cylindriques sont considérés comme une branche fondamentale dans la mécanique des fluides.

Dans ce chapitre nous allons présenter une synthèse bibliographique reprenant une partie des travaux réalisés dans ce domaine, et exposer les définitions de base de mécanique des fluides, des écoulements autour des obstacles.

**Guojon-Durand et al (2001)[1]** ont étudié l'écoulement d'un fluide autour d'un cylindre animé d'un mouvement de rotation oscillante autour de son axe. Ils ont confirmé que pour certaines valeurs de la fréquence d'oscillation, il y a lieu d'une réduction de l'instabilité hydrodynamique. Et par la suite, ils ont modifié l'écoulement moyen en fonction de certains paramètres mécaniques de structure du corps.

**Madani et Abidat (2002)[2]** ont proposé un algorithme pour la résolution des équations de Navier-Stokes, qui utilise une combinaison de deux schémas aux différences finies d'ordre  $O(h^2)$  et  $O(h^4)$ , afin d'étudier les écoulements in stationnaires autour des corps profilés. Les avantages en temps de calcul et en précision de la méthode proposée ont été mis en évidence.

**N. Roquet et al (2003)[3]** ont travaillé sur l'écoulement d'un fluide stationnaire autour d'un cylindre en utilisant la modélisation numérique pour étudier et expliquer la variation de l'effort de fléchissement sur le sillage d'un cylindre. Les résultats portent sur la détermination du comportement asymptotique du fluide.

**Saha Biswas et Muralidhar.2003 [4]** ont étudié numériquement l'évolution spatiale des tourbillons dans le sillage d'un cylindre carré (Fig.11). Le nombre de Reynolds considéré est compris entre 150 et 500. Les calculs numériques de l'étude avec un cylindre carré ont montré que les valeurs du nombre de Strouhal et du coefficient de traînée moyenné dans le temps ont été étroitement liées sur la plage des nombres de Reynolds étudiés et reflètent la structure spatiale du sillage.

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

**Giancarlo Alfonsia, Carlo Restanob , Leonardo Primavera 2003 [5]** Les structures cohérentes de l'écoulement se développant autour d'un obstacle cubique monté en surface placé dans un écoulement de canal turbulent ( $Re = 40000$  basé sur la vitesse apparente et la demi-largeur du canal) ont été enquêtés. La technique de la décomposition orthogonale propre a été appliquée pour extraire les structures cohérentes de l'écoulement à partir d'une base de données obtenue à l'aide d'un volume fini, pour la modélisation de la turbulence, l'approche LES est suivie et la fermeture à l'échelle de la sous-grille RNG a été utilisée. Les résultats ont été présentés en termes de verticité montrant la dynamique temporelle des structures cohérentes dans le sous-domaine.

**QIE- Rong et al (2006)[6]** ont mené une étude expérimentale de l'écoulement de l'eau peu profonde transitoire autour d'un cylindre circulaire horizontal avec un rapport d'espace  $G$ . à l'aide d'une méthode PIV image vélocimétrie de particule, Ils ont présenté la distribution de champ de vitesse, champ de pression et le développement du vortex pour divers rapports – espace  $G$ .

**N.Takafumi et al (2006)[7]** ont effectué une étude numérique bidimensionnelle de l'écoulement autour d'un cylindre circulaire, en utilisant la modèle DES (Detached Eddy Simulation). Les résultats obtenus par La DES a prévu la cessation du décollement de tourbillon derrière le cylindre ; et même résultat a été obtenu en utilisant la méthode simulation RANS (Reynolds Average Numerical Simulation), mais avec un rapport – espace  $G=h/d$  plus petit que la DES.

**P.F. Zhang et al (2006)[8]** ont effectué une étude numérique de l'écoulement laminaire bidimensionnel autour d'une tige ascendante et d'un cylindre circulaire. Les résultats obtenus à l'aide du logiciel de simulation Fluent démontrent que le coefficient de traînée moyenne et le coefficient de fluctuation de portance du cylindre peuvent être réduits par une tige ascendante.

**R. Belakroum et al (2007)[9]** Ont étudié par la méthode des éléments finies, le modèle LES (Large Eddy Simulation) pour simuler l'écoulement instationnaire et turbulent d'un fluide incompressible autour d'un cylindre. Ils ont trouvé que Le phénomène d'éclatement tourbillonnaire est nettement mis en évidence.

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

**F. Meddane et al (2007)[10]** ont étudié l'écoulement de fluide autour d'un obstacle, telle une aile de profil NACA 0021. Ils ont montré que l'utilisation du volet a une influence directe sur la distribution de pression et donc sur les forces aérodynamiques du profil.

**Dal Jae Park et al (2007)[1]** ont étudié expérimentalement les effets de différentes obstructions formées sur la propagation de la flamme dans un emprisonnement rectangulaire. Quatre obstacles simples différents ont été employés : sections transversales rectangulaires, cylindriques triangulaires et carrées avec des rapports de colmatage de 5 et de 10%. Ils ont utilisé une caméra vidéo à grande vitesse pour étudier l'interaction entre une flamme de propagation et l'obstacle. Des images temporellement résolues de flamme ont été observées. Les vitesses de déplacement de flamme qui sont fonctions de la densité de probabilité ont été obtenues pour les différents obstacles. Comme la flamme de propagation empiète sur l'obstacle, une augmentation de vitesse locale de propagation due à l'expansion du gaz brûlé et au colmatage de l'obstacle a été obtenue. Cette augmentation locale de vitesse devient plus grande en allant d'un obstacle circulaire à un obstacle triangulaire ou carré. Ils ont trouvé que les vitesses mesurées avec différents rapports de colmatage pour le même obstacle et ramenées à une moyenne de déplacement de flamme n'étaient pas sensiblement différentes à celle étudiées dans ce travail. Cependant, ils ont observé l'augmentation de la vitesse la plus rapide ramenée à une moyenne de flamme.

**S.Pascal-Ribot et Y. Blanchet (2007)[12]** ont réalisé une étude expérimentale et numérique de l'écoulement de fluide autour d'un cylindre rigide en deux phases l'air et eau. La résolution numérique du problème a été faite à l'aide d'une méthode d'analyse dimensionnelle standard. Ils ont présenté une exploration de base pour évaluer les forces de portance de vibration exercées sur le cylindre.

**C. Shu et al (2008)[13]** Ont mené une étude numérique d'un écoulement transitoire bidimensionnel au-dessus d'un cylindre circulaire. La résolution numérique du problème a été faite à l'aide d'une méthode IBM (Méthode Immergée de Boltzmann) de correction-treillis. Ils ont constaté que cette méthode est simple dans le concept et

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

facile pour l'exécution et la convergence du calcul numérique est plus rapide et plus stable.

**I. Khabbouchi et M.S. Guellouz (2008)[14]** Ont effectué des mesures par PIV dans la zone du sillage proche derrière un cylindre placé près d'une paroi au niveau de son bord d'attaque. La configuration géométrique a permis d'isoler l'effet de l'écoulement type jet qui s'installe dans l'espace entre la paroi et le cylindre. Le nombre de Reynolds, basé sur le diamètre du cylindre et la vitesse de l'écoulement libre est  $Re=8667$ . Ils ont montré l'existence de trois régions différentes d'écoulement lorsque le cylindre se rapproche de la paroi. L'effet de l'écoulement type jet se manifeste dans les faibles rapport- espace ( $G/D < 0.3$ ) en détruisant la couche de cisaillement inférieure et empêchant, par la suite l'allée de Von Karman de s'installer dans le sillage.

**Shuyang Cao –Yukio Tamura (2008)[15]** Ont étudié numériquement et expérimentalement l'écoulement autour d'un cylindre circulaire pour un nombre de Reynolds sous-critique. On constate que le nombre de Strouhal ne montre aucune variation par rapport au paramètre de cisaillement, et que le point d'arrêt à haute vitesse a une grande influence sur la force aérodynamique.

**M.S. Dhouieb et al. (2008)[16]** Une étude expérimentale et numérique menée dans une conduite horizontale rectangulaire au milieu de laquelle est placé un cylindre carré de hauteur  $h = 0.01\text{m}$  et de largeur  $l = 0.02\text{m}$ . L'écoulement en amont de celui-ci est laminaire. Des mesures PIV ont été effectuées afin de caractériser expérimentalement les structures tourbillonnaires. Parallèlement une simulation numérique 2D est réalisée pour faire la comparaison avec les résultats numériques. D'autres mesures PIV complémentaires ont été menées par le dessus du canal en aval du cylindre afin de détecter une éventuelle tridimensionnalisation de l'écoulement. Lors des mesures, ils ont constaté l'apparition des tourbillons de Von Karman dans le cas d'un écoulement derrière un cylindre dans un milieu confiné. Les résultats expérimentaux sont en bonnes concordances avec les simulations numériques 2D,  $Re_{mc} = 90$ . Pour des  $Re \ll 180$  les instabilités deviennent très importantes. Les

résultats de la simulation numérique 2D sont en concordance avec les résultats

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

expérimentaux l'erreur est inférieure à 15 %.

**E. Faghani et al (2009)[17]** ont étudié l'écoulement et le transfert de chaleur d'un cylindre circulaire à partir d'un gicleur à air isotherme. L'étude s'est établie sur le nombre de Reynolds bas. Ils ont trouvé que le nombre de Nusselt moyen croit avec le nombre de Reynolds. Ainsi la distance entre le bec et le cylindre a un effet fort sur le transfert de chaleur.

**K.Lam-L. Zou (2009)[18]** ont étudié numériquement et expérimentalement les écoulements turbulents autour de quatre cylindres dans une configuration carrée intégrée avec différents rapports d'espacement choisis. Les résultats obtenus de la fluctuation de vitesse sont avérés similaires aux résultats numériques.

**L. Bruno et al (2009)[19]** ont contribué par l'étude à l'analyse tridimensionnelle, de l'écoulement de fluide turbulent, pour un nombre de Reynolds élevé autour d'un cylindre rectangulaire avec un rapport de corde-à-profondeur  $G$ . Ils ont réalisé que les paramètres aérodynamiques principaux obtenus par la modélisation numérique sont semblables aux résultats proposés dans la littérature.

**M.M. Ouestati et al (2010)[20]** se sont intéressés à la simulation par les différentes formulations de la fonction-verticité pour résoudre l'équation de Navier-Stokes. Étudié l'écoulement de fluide réguliers et transitoires autour d'un obstacle carré. Ils ont conclu que cette formulation a plusieurs avantages.

**S Mossaz, P Jay, A Magnin (2011)[21]** ont étudié l'écoulement inertiel d'un fluide à seuil de contrainte autour d'un obstacle cylindrique de manière expérimentale et numérique. Le fluide à seuil de contrainte utilisé est un gel de Carbopol à comportement élasto viscoplastique rhéofluidifiant. Il a été montré que :

- Le confinement retarde l'apparition du régime laminaire avec recirculation ainsi que l'apparition du régime avec détachement de tourbillons et fait augmenter les longueurs caractéristiques.
- L'influence de l'indice de rhéofluidification dépend du nombre d'Oldroyd. Pour  $Od < 0.5$ , les longueurs caractéristiques décroissent lorsque  $n$  diminue.

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

- Le seuil a un effet stabilisant sur l'écoulement. Les régimes recirculant et instationnaire avec détachement de tourbillons sont obtenus pour des nombres de Reynolds plus élevés lorsque l'on augmente le seuil de contrainte.

**ZB Ouattara, A Magnin, P Jay(2015)[22]** Leurs étude est consacrée a la modélisation numérique de l'écoulement incompressible d'un fluide de Bingham autour d'un obstacle cylindrique de diamètre  $D$  se déplaçant a une vitesse constante près d'une paroi. L'influence de l'effet d'une paroi sur l'écoulement d'un fluide de Bingham autour d'un obstacle cylindrique placé dans un canal a été étudiée. Les efforts de trainée et de portance ont été déterminés en fonction des paramètres sans dimensions tels que le jeu ( $G$ ), le nombre de Reynolds ( $Re$ ), et le nombre de Bingham ( $Od$ ). Les résultats sont comparables à ceux de la littérature aussi bien dans le cas d'un fluide newtonien que celui d'un fluide de Bingham pour les cas asymptotiques

**H Ozogul – 2016[23]** Ce travail de thèse concerne les écoulements de fluide a seuil de contrainte autour d'un obstacle cylindrique en milieu confiné avec une configuration d'écoulement de poiseuille.

Des résultats comme les morphologies d'écoulement, la localisation des zones rigides, les champs de vitesses ont été obtenus. Ceci a permis de comparer les différences entre les effets liés a la nature des gels de Carbopol et la modélisation viscoplastique. Une étude spécifique sur le glissement a l'interface fluide-structure a également été réalisée avec l'utilisation d'un modèle de lubrification élasto-hydrodynamique.

**S Mouloud, FN Bouda, F Mendil (2017)[24]** ont étudié la stabilité linéaire d'un écoulement bidimensionnel au point de stagnation sur un cylindre horizontale chauffé, en fonction du nombre de Richardson pour des différentes valeurs de Prandtl. Ils ont constaté ainsi que l'écoulement est de plus en plus instable quand  $Pr$  augmente, c'est à dire quand l'épaisseur de la couche limite thermique se réduit. Pour des valeurs de  $Pr$  supérieur à l'unité, l'augmentation de  $Pr$  fait accroître l'amplitude de la perturbation de la température  $\hat{\theta}$  et décroître celle de la vitesse  $\hat{u}$  qui est synonyme de l'accroissement de l'instabilité thermique en raison de la diminution de la diffusion thermique face la diffusion visqueuse.

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

**J. Hu a, H.B. Xuan a et al , 2018 [25]** Dans cette expérience , les performances du modèle IDDES ont été testées pour simuler l'écoulement autour d'un cube de 6 m et étudier le comportement de la couche limite. Certains paramètres de calcul ont été soigneusement évalués et analysés, y compris la résolution du maillage, le pas de temps de discrétisation et le temps d'échantillonnage. Dans l'ensemble, le calcul des résultats a été en bon accord avec les données de l'expérience à grande échelle. La simulation à l'aide IDDES est capable de fournir une prédiction raisonnablement précise des caractéristiques moyennes et instables par rapport aux données expérimentales LES. Par conséquent, ils ont suggéré que l'IDDES pourrait être approprié pour la simulation d'un environnement de vent extérieur, du vent autour des bâtiments et du vent dans un environnement urbain complexe.

**N Hamdi, F Nait Bouda, O Charifi – 2019[26]** ont effectué une étude numérique bidimensionnelle de l'écoulement laminaire newtonien autour d'un obstacle cylindrique sous l'influence d'un champ magnétique en utilisant la méthode des volumes finis. Ils ont examiné l'influence de la direction du champ appliqué sur le décollement de la couche limite. Par Alléur ils ont étudié de près le comportement de l'écoulement pour déférent nombre de Hartmann en analysant les variables physiques globaux.

**AA Hani – 2019 [27]** Cette étude est calculée avec Ansys fluent 15.0, en utilisant la méthode des volumes finis. Les différentes astuces du choix de la géométrie sont procurées à partir de l'expérimentale. Cette étude peut être appliquer en pratique par exemple : dans des débitmètres à effet vortex, comme le montre l'expérimentale.

Les résultats trouvés sont satisfaisants, mais reste plusieurs autres nombres de Reynolds à trouver et qui peut aider dans la résolution des équations de Navier-Stokes

**Mingwei Ge, Dennice F. Gayme, Charles Meneveau 2020 [28]** : Dans cette étude, les propriétés du champ d'écoulement autour d'éoliennes à axe horizontal exploitées dans le sillage d'un bâtiment en forme de cube ont été étudiées à l'aide de LES (Fig.01). Comme prévu, des pertes de puissance importantes, des niveaux de puissance plus élevés et des fluctuations ont été observées pour les turbines fonctionnant en aval du cube (bâtiment). Quatre distances de  $x_t / h = 2, 4, 6, 8$ , ont été considérés où  $x_t$  est la distance entre la turbine et le cube). Ces résultats fournissent des informations importantes qui peuvent être utilisées pour définir des stratégies pour l'emplacement de modules de production d'énergie éolienne dans les zones urbaines.

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

**Mikail Salihoglu** [29] but de cette étude est de décrire l'impact de la porosité sur deux écoulements. Tout d'abord ils ont pu valider un modèle de porosité à travers une comparaison avec [10], ils ont ensuite fait une étude 2D de l'effet d'une surface poreuse d'un cylindre carré sur la transition entre un régime stationnaire et ainsi ont pu observer que la surface poreuse provoquait un décalage de cette transition. Enfin, ils ont décidé de mener une étude pour trouver les Reynolds critique des bifurcations d'un écoulement 3D présentant un obstacle cubique solide. L'approfondissement des études sur les régimes d'écoulement a pu permettre d'observer un 4ème régime d'écoulement, dont la description est encore à faire. L'extension de cette étude à une surface poreuse représente une suite directe aux résultats présentes dans ce rapport.

**Lamia. Benahmed, Khaled. Aliane, Ali.J. Chamkha, 2021** [30] : Une étude 3D a été menée à l'aide du modèle de turbulence  $K\omega$  SST pour analyser l'effet de la forme effilée des deux sommets supérieurs du parallélépipède rectangle placé dans le canal et l'effet de l'insertion d'une dépression au centre de la rizière (Fig.3.1). Divers modèles de la forme du cube ont été présentés pour illustrer les caractéristiques d'écoulement du nombre de Reynolds  $Re = 4104$ . L'énergie cinétique turbulente, les lignes de courant 2D et 3D avec tracés temporels, les profils de vitesse continus, les profils de pression sont obtenus à l'aide du code informatique ANSYS CFX et la méthode des volumes finis est utilisée pour résoudre l'équation directrice. Les lignes de courant du modèle de cube effilé avec l'auge ont montré qu'un autre vortex s'est formé en aval du cube à la sortie de l'auge. La vitesse descendante a deux zones de recirculation. L'une est la zone logarithmique principale et l'autre est la zone de recirculation parabolique inférieure due au vortex de recirculation.

**Mourad Bouterra et al. [31]** ont étudié l'effet de la stratification thermique sur la couche de cisaillement et l'intensité des instabilités dépend fortement de l'état de la turbulence de l'air (Fig.4). Dans le cas non perturbé, l'évolution du champ instantané de la température a montré la présence d'une zone de mélange bornée par des zones de fluide chaud en haut et de fluide froid en bas. En présence d'une perturbation périodique, des mouvements tourbillonnaires convectifs apparaissent. Ils ont montré la présence d'une valeur optimale de la fréquence d'excitation égale à 0,3. Les résultats ont montré que l'écoulement se laminarise, puis redevient turbulent et similaire à celui non perturbé

**Youcefi sidi mohamed et al 2022** [32] ont étudié les zones de recirculation et de mélange naissant dans un écoulement de canal alimenté par un obstacle cubique. Pour le nombre de



# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

Reynolds  $Re = 8.104$  . L'objectif principal de leur expérience été de contrôler ces zones de recirculation en fixant une rugosité variable. Pour cela, une approche numérique tridimensionnelle a été réalisée à l'aide du code de calcul ANSYS CFX. De plus, les équations gouvernantes ont été résolues en utilisant la méthode des volumes finis. Le modèle de turbulence de transport de contrainte de cisaillement (SST)  $K-\omega$  a été utilisé pour modéliser les contraintes turbulentes. Au final, ils ont présenté les résultats de simulation moyennée dans le temps des contours des lignes de courant (lignes de courant moyennées dans le temps 3D, lignes de trace), trois composantes des vitesses

**Krajnović et Davidson [33]** ont utilisé la simulation à grande échelle (LES) pour calculer le flux autour d'un cube monté en surface à arêtes vives . Différentes techniques de visualisation ont été utilisées. La simulation à grande échelle est une technique numérique tridimensionnelle dépendante du temps ; elle permet une visualisation de l'ensemble de grandeurs caractéristiques de l'écoulement, en particulier dans les zones inaccessibles avec des moyens de mesures expérimentales. Il a été démontré que des expériences réelles peuvent être simulées à partir des données obtenues dans la simulation de grandes échelles. Avec l'augmentation des ressources de stockage et de la puissance de calcul, cette technique sera utilisée plus fréquemment pour des calculs plus exigeants à l'avenir.

**KORIB Kamel 2012 [34]** a étudié les phénomènes hydrodynamiques qui se construisent lorsqu'un écoulement turbulent rencontre un obstacle carré fixe placé au fond d'un canal rectangulaire (fig.06). Le but de son étude est de faire montrer le changement des paramètres physiques de l'écoulement parallèlement avec le changement de l'angle formé par la première arrête de l'obstacle et la section verticale et s'intéresse aux champs de la vitesse résultante, aux champs des vitesses longitudinale et transversale, ainsi qu'aux champs de l'énergie cinétique turbulente et la dissipation de l'énergie cinétique turbulente. La simulation a été fournie par le code de calcul FLUENT. Le modèle  $K-\omega$  standard a été utilisé. Les résultats obtenus ont montré que l'influence de l'inclinaison de la première arrête de l'obstacle sur les paramètres considérés de l'écoulement a été bien observé.

**LSS Malika – 2022[35]** Une étude numérique de la convection naturelle des transferts de Chaleur laminaire stationnaire dans un anneau horizontal entre un cylindre interne triangle chaud et un cylindre extérieur elliptique froid, Ils ont étudié les effets des différents nombres de Rayleigh et les fractions volumiques des nanoparticules sur la convection naturelle. Les résultats sont présentés sous forme des isothermes, des iso courants, et des nombres locaux et moyens de Nusselt. Les résultats

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

discutés dans ce présent travail montrent l'existence d'un très bon accord entre les résultats actuels et ceux des recherches précédentes.

## I.1 Notions de base sur la mécanique des fluides

Dans cette section, nous allons définir les concepts de la mécanique des fluides et des écoulements autour des obstacles.

### I.1.1 Concept de la mécanique des fluides :

La mécanique des fluides est la science des lois de l'écoulement des fluides. Elle est la base du dimensionnement des conduites de fluides et des mécanismes de transfert des fluides. C'est une branche de la physique qui étudie les écoulements de fluides c'est-à-dire des liquides et des gaz lorsque ceux-ci subissent des forces ou des contraintes.

Elle comprend deux grandes sous branches :

- la statique des fluides, ou hydrostatique qui étudie les fluides au repos. C'est historiquement le début de la mécanique des fluides, avec la poussée d'Archimède et l'étude de la pression.
- la dynamique des fluides qui étudie les fluides en mouvement. Comme autres branches de la mécanique des fluides.

On distingue également d'autres branches liées à la mécanique des fluides : l'hydraulique, l'hydrodynamique, l'aérodynamique, ... Une nouvelle approche a vu le jour depuis quelques décennies: la mécanique des fluides numérique (CFD ou Computational Fluid Dynamics en anglais), qui simule l'écoulement des fluides en résolvant les équations qui les régissent à l'aide d'ordinateurs très puissants : les supercalculateurs.

La mécanique des fluides a de nombreuses applications dans divers domaines comme l'ingénierie navale, la biomédecine, la météorologie, l'hydraulique, la géophysique, la turbomachine et l'aérodynamique [36].

### I.1.2 Définition d'un fluide

On appelle fluide un corps qui n'a pas de forme propre et qui est facilement déformable comme les liquides et les gaz, on peut citer aussi des corps plus complexes

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

comme les polymères ou les fluides alimentaires [37].

En mécanique des fluides, on distingue deux types de fluides, à savoir:

- Le Fluide parfait : le mouvement du fluide parfait est décrit sans prendre en compte les effets de frottement.
- Le fluide réel : un fluide est dit réel si, pendant son mouvement, les forces de contact sont pas perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquelles elles s'exercent (elles possèdent donc des composantes tangentiels qui s'opposent au glissement des couches fluides les unes sur les autres).

## I.2 Variables fondamentales:

Les variables fondamentales de la mécanique des fluides, sont: La pression, la masse volumique, la viscosité et la vitesse d'écoulement [38].

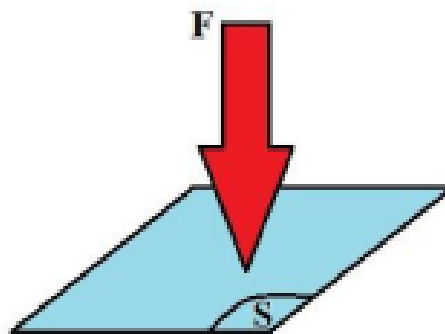
### I.2.1 La pression:

La pression est la force normale exercée sur une surface unitaire:

$$P = \lim_{dS \rightarrow 0} \left( \frac{dF}{dS} \right) \quad (\text{I.1})$$

Où dS: surface élémentaire autour d'un point dans le fluide.

dF: force élémentaire appliquée à la surface dS.



**Fig1.1:** Notion de pression [39]

### I.2.2 La masse volumique

La masse volumique représente le rapport de la masse sur le volume en fonction du comportement de la masse volumique d'un fluide  $\rho$ , qui est défini comme suite :

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{I.2})$$

$\rho$  Représente la masse volumique du fluide, exprimée en (kg/m<sup>3</sup>).

$m$  représente la masse du fluide, exprimée en (kg).

$v$  Représente le volume du fluide, exprimé en (m<sup>3</sup>).

En fonction de la variation de la masse volumique d'un fluide, on distingue deux types de fluides:

- Le fluide compressible : Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles. Par exemple, l'air, l'hydrogène, le méthane à l'état gazeux, sont considérés comme des fluides compressibles.
- Le fluide incompressible : Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.).

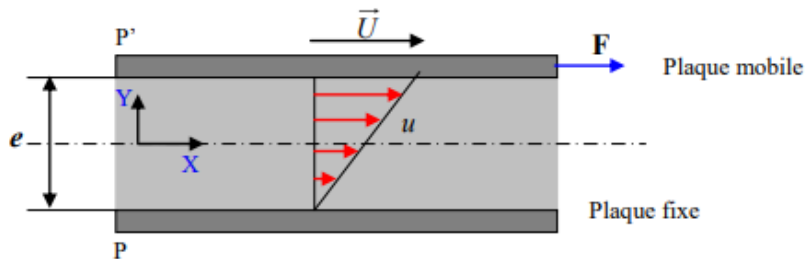
## I.2.3 La viscosité

La viscosité est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent plus facilement. On distingue deux types de viscosité qui sont comme suite:

- Viscosité dynamique : coefficient caractéristique d'un fluide, égal à la force nécessaire au déplacement de l'unité de surface plane du fluide, avec une vitesse unité, par rapport à une autre surface plane du même fluide qui lui est parallèle à une distance unité.
- Viscosité cinématique : quotient de la viscosité dynamique

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

d'un fluide par sa masse volumique à la température considérée. La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort).



**Figure I.2** Déformation résultante de l'application d'une force tangentielle

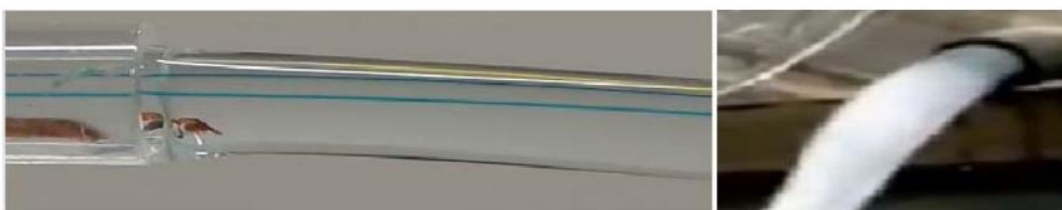
## I.2.4 Vitesse de l'écoulement:

La vitesse de l'écoulement représente la vitesse d'un élément de fluide qui passe par un point à un instant donné. Elle joue un rôle très important en dynamique des fluides [38].

## I.3 Le nombre de Reynolds :

Tout n'est pas explicable par la théorie, le développement de nombreuses installations d'essai et moyens de mesure ont permis d'avoir plusieurs résultats pratiques, mais l'apparition des nombres adimensionnels permet de justifier, d'expliquer et d'éclaircir plusieurs essais faits sur maquette en soufflerie ou en bassin de carène [40].

En 1839, G. H. Ludwig Hagen a été le premier à faire l'hypothèse qu'il pouvait exister deux types de régime d'écoulements, car il 'a constaté d'après son expérience où il mesurait la perte de pression en fonction de la vitesse moyenne d'écoulement, dans une conduite cylindrique, que la perte de pression était proportionnelle à la vitesse quand celle-ci est basse ; quand on a une haute vitesse, la perte de pression est proportionnelle au carré de la vitesse.



# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

Figure I.3 : les types d'écoulements.

En 1883, Osborne Reynolds a montré que le changement de régime d'écoulement dans une conduite dépendait d'une quantité sans dimension qui regroupe le débit, la viscosité cinématique et la géométrie. C'était la naissance du nombre de Reynolds.  $Re$  est la notation du nombre de Reynolds, définit le régime d'un écoulement. Un écoulement est dit laminaire (ordonné, sans diffusion) lorsque on a un faible nombre de Reynolds, pour ce régime on voit que les filets de fluide ne se mélangent pas, les couches glissent les unes par rapport aux autres, les cellules de fluide gardent leur individualité et on a une distribution de vitesse parabolique. Un écoulement est dit turbulent quand il est chaotique dont la prédiction est difficile, les lignes de courant d'instant successifs se coupent, les particules se déplacent dans toutes les directions et la répartition des vitesses semble aléatoire, ce régime est caractérisé par apparition de tourbillons turbulents, quand au régime transitoire, comme son nom l'indique est un régime de transition entre le régime laminaire et le régime turbulent, ou on trouve un commencement de turbulence, entre ses régimes existe une vitesse critique qui distingue un régime d'écoulement à un autre. Le nombre de Reynolds généralisé est défini par l'équation :

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu}$$

Où  $\rho$ ,  $U$  et  $D$  représentent respectivement la masse volumique du fluide, la vitesse d'écoulement et une dimension caractéristique de l'écoulement qui peut être un diamètre hydraulique ou une longueur [41],  $\mu$  pour la viscosité dynamique.  $Re$  qui représente le rapport entre les effets d'inertie et les effets visqueux ou de frottements car :

$$F_{inertie} = m * a = \rho * V * dv / dt .$$

Avec :  $m$  pour la masse,  $a$  pour l'accélération,

$m = \rho * V$ ,  $\rho$  pour la masse volumique et  $V$  pour le volume.

$F_{frottements} = \mu * F = \mu * S * dv / dx$  . Avec :  $\mu$  pour la viscosité dynamique et  $S$  pour la surface.

$$Re = (F_{inertie} / F_{frottements}) = (\rho * V * dv / dt) / (\mu * S * dv / dx) = \rho U D / \mu$$

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

Dans un régime laminaire, les effets d'inertie sont faibles devant les effets visqueux, qui représentent une perte d'énergie due au frottement du fluide avec la paroi et aux forces de cisaillements des différentes couches du fluide entre elles-mêmes, les forces visqueuses essaient de dissiper les perturbations créées par l'écoulement contrairement aux forces d'inerties (l'accélération du fluide) qui favorisent leur propagation. Un régime turbulent est caractérisé par des effets visqueux négligeables par rapport aux effets d'inertie

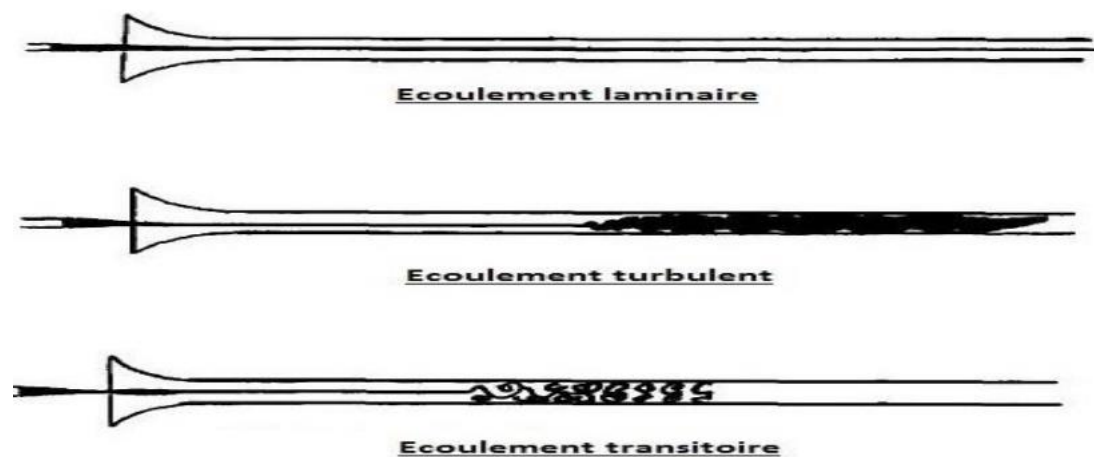


Figure I.4: expérience de Reynolds.

Pour notre étude on va se concentrer sur l'écoulement laminaire, ou l'écoulement de Poiseuille, d'après Poiseuille né en 1869, qui est un physicien et un médecin dont la recherche des écoulements dans les vaisseaux sanguins l'a mené à cet écoulement, qui présente lui-même des phénomènes à étudier.

Pour mieux approcher notre problème, on va commencer par l'étude d'un obstacle et d'une conduite cylindrique de base circulaire, parce qu'on les trouve dans toute la littérature et ils sont la base de toute étude, puis on va développer le cas original sujet de ce mémoire. Dans ce qui suit on va décrire brièvement les différents régimes d'un écoulement laminaire pour un cylindre et une conduite de base circulaire, par rapport au nombre de Reynolds.

# Chapitre 1 : Recherche bibliographique

---

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons reconnus certains problèmes que les chercheurs ont rencontrés pour convenir la difficulté d'examiner le comportement de l'écoulement autour des obstacles .



# Chapitre 02

| Notions de base & Formulations mathématiques |

### II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la définition **Les régimes d'écoulements**, et Par la suite, nous allons donner des équations hydrodynamiques qui régissent le phénomène physique de l'écoulement bidimensionnel d'un fluide incompressible autour d'un obstacle de forme circulaire .

Pour définir un régime d'écoulement, on peut se baser sur une grandeur adimensionnelle appelée nombre de Reynolds, ce dernier représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces de la viscosité, et caractérise l'apparition de la turbulence.

Le nombre de Reynolds est défini comme suit :

$$\text{Re} = \frac{\rho U D}{\mu} \quad \text{(II.1)}$$

Dans la précédente équation,

$U$  Représente la vitesse de l'écoulement, exprimée en (m/s).

$D$  Représente le diamètre caractéristique, exprimée en (m).

$\rho$  Représente la masse volumique de fluide, exprimée en (kg/m<sup>3</sup>).

$\mu$  Représente la viscosité de fluide, exprimée en (kg/m.s).

### II .2 Écoulement autour d'un cylindre :

#### II.2.1 Introduction :

Le champ d'écoulement derrière un cylindre circulaire infini a été largement étudié dans le passé. Ce champ d'écoulement est une phénoménologie importante pour de nombreux domaines techniques et physiques, car le développement des vortex alternés dans le sillage proche, provoque des forces de pression qui génèrent des vibrations structurelles, des bruits acoustiques et des phénomènes de résonance.

Nous présentons dans ce chapitre, une étude bibliographique des différentes classes d'écoulement pouvant être rencontrées sur un cylindre.

### II .2.2 Écoulement autour d'un cylindre circulaire :

L'écoulement d'un fluide à faible nombre de Mach ( $Ma \leq 0.3$ ), est considéré incompressible. L'adimensionnalisation des équations régissant cet écoulement dépend du nombre de Reynolds et des conditions aux limites et initiales. Dans ces conditions, l'écoulement autour du cylindre dépend uniquement du nombre de Reynolds défini comme :

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot D}{\mu} \quad (\text{II.2})$$

Où :  $U_{\infty}$  est la vitesse en amont,  $D$  le diamètre du cylindre et  $\mu$  la viscosité dynamique du fluide considéré. Ce nombre adimensionnel caractérise le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses.

### II.2.3 Différents régimes de l'écoulement :

Sur la base de ces différents travaux on peut citer les différents régimes d'écoulement en fonction du nombre de Reynolds comme suite :

#### II.2.3.1 Régime d'écoulement rampant ( $Re < 5$ ) :

Les effets visqueux sont dominants par rapport aux effets de l'inertie, l'écoulement est symétrique entre l'amont et l'aval et également par rapport à l'axe longitudinal du courant. Le fluide est attaché au cylindre et aucun décollement n'apparaît, et aucune instabilité ne se déclenche.

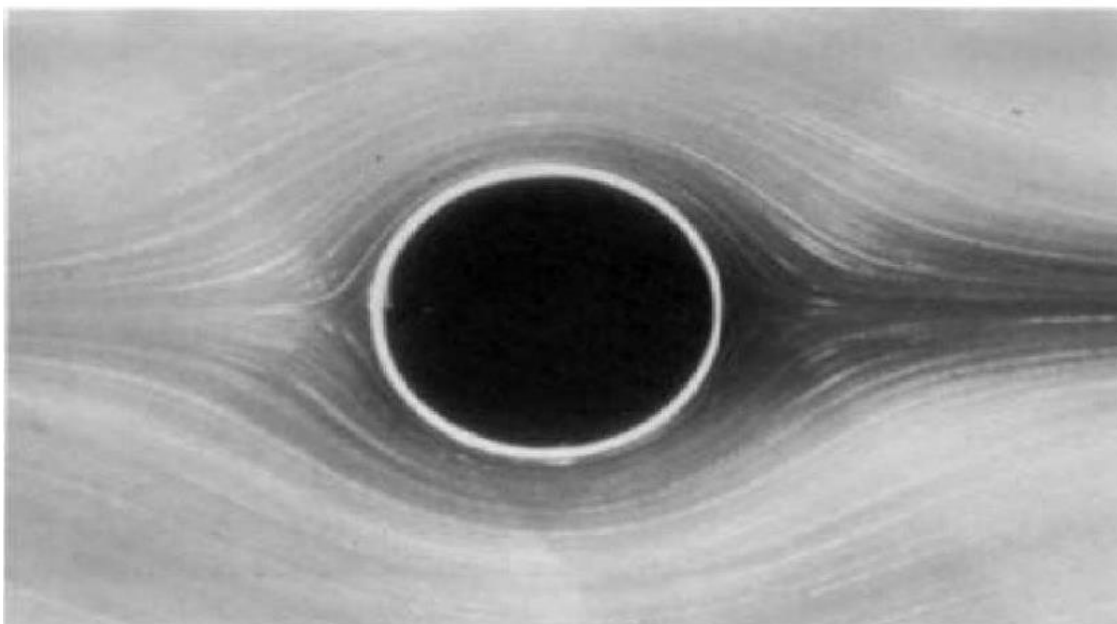


Figure II.1 : écoulement rampant à  $Re = 0.16$ , d'après Van Dyke (1982), visualisation : S. Taneda. [42].

### II.2.3.2 Régime laminaire stationnaire ( $5 \leq Re \leq 48$ ) :

Les forces d'inertie augmentent et l'effet visqueux n'est plus assez grand, un décollement de la couche limite apparaît dans cette région. Il se forme, en aval du cylindre deux zones de recirculation contrarotatives symétriques comme le montre la figure 1. Le point de rattachement s'éloigne du cylindre quand le nombre de Reynolds augmente. L'écoulement est stable, stationnaire et reste symétrique par rapport à l'axe longitudinal.

**NB :** Le point de rattachement défini comme le lieu d'annulation de la vitesse longitudinale sur l'axe longitudinal

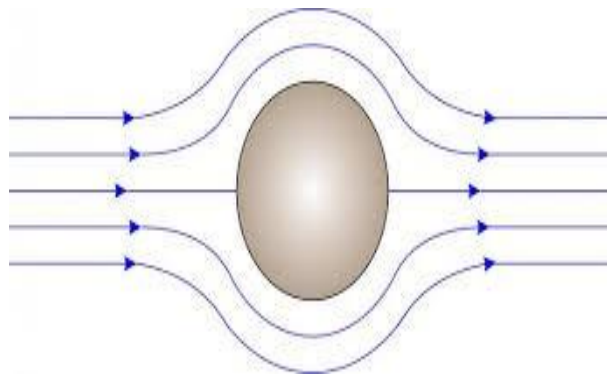
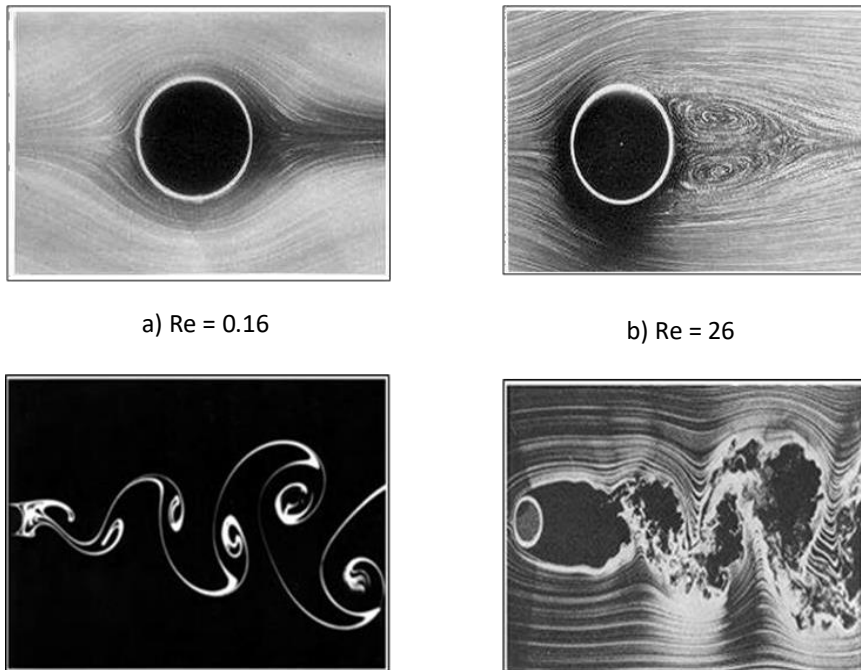


Figure II.2 : Schéma d'un écoulement laminaire autour d'un obstacle circulaire

### II.2.3.3 Instationnarités bidimensionnelles ( $48 \leq Re \leq 180$ ) :

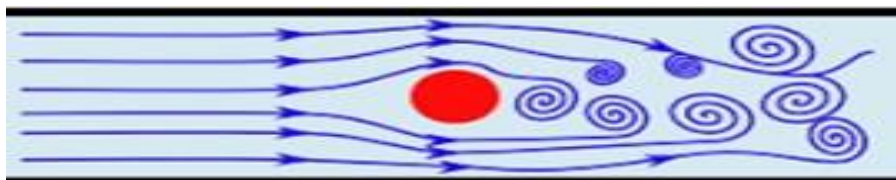
L'écoulement autour du cylindre est instationnaire. Les deux tourbillons perdent leur symétrie et l'écoulement devient instable. Les différentes sources de perturbations ne peuvent plus être amorties qui conduisent au déclenchement de l'instabilité de Von- Kármán, cette instabilité est de nature bidimensionnelle. Le sillage est périodique et l'écoulement demeure entièrement laminaire. Le paramètre adimensionnel relatif à la fréquence du lâcher tourbillonnaire est le nombre de Strouhal  $St: \frac{f_d f^D}{\mu}$ . Sur l'intervalle  $U_\infty$  de valeurs du nombre de Reynolds considéré, le nombre de Strouhal augmente avec le nombre de Reynolds, figure1.2



**Figure II.3** : Différents régimes d'écoulement autour d'un cylindre en fonction du nombre de Reynolds  $Re$ . Photographies : S. Taneda (Photo a et b), T. Corke et H. Nagib (photo c et d), extraites de Van Dyke [43].

### II.2.3.4 Instationnarités tridimensionnelles et apparition de la turbulence ( $180 \leq Re \leq 1200$ ) :

Pour  $180 \leq Re \leq 300$ , commence la transition vers le régime turbulent et l'écoulement devient tridimensionnel. Un phénomène correspond au développement de l'instabilité secondaire présentée par la naissance de tourbillons longitudinaux ainsi qu'une ondulation des rouleaux de Von-Kármán dans le sens de l'envergure du cylindre. En fonction de la longueur d'onde de l'ondulation transversale des rouleaux, deux topologies tridimensionnelles distinctes dans le sillage.



**Figure II.4** : Schéma d'un écoulement turbulent autour d'un obstacle circulaire [39].

### II.3 Passage d'un régime a l'autre :

Trois types de transition se présentent, la première est appelée transition naturelle où la couche limite laminaire développe ce qu'on appelle les ondes de Tollmien- Schlichting suivies par une amplification d'instabilités et finalement d'un écoulement complètement turbulent figure (II.3). La transition naturelle se produit habituellement avec de petites perturbations de l'écoulement libre.

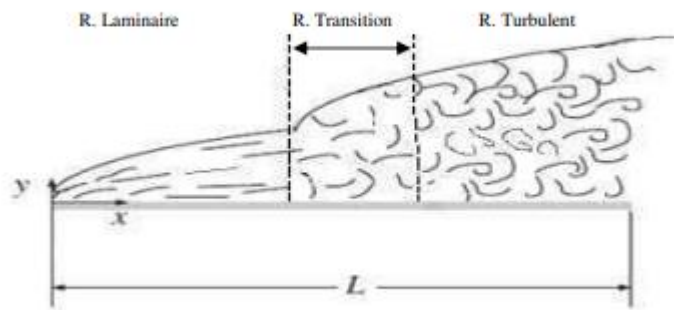


Figure II.5 Phénomènes induits par la transition naturelle

### II.4 Notions sur l'écoulement autour des obstacles

Les études traitent le problème de l'écoulement de fluide autour des corps est l'un des phénomènes importante qui a été étudié dans le domaine de la mécanique des fluide. Ces dernières années, les études ont suscité un intérêt considérable et beaucoup d'attention en raison d'améliorations des techniques de mesure expérimentales.

Le phénomène d'instabilité de Bénard-Von Karman est l'un des problèmes les plus classiques de mécanique des fluides. C'est le modèle le plus simpliste permettant une approche concrète des phénomènes de turbulence générés par la présence d'un obstacle sur le trajet d'un écoulement laminaire. Son étude connaît depuis quelques années un nouvel engouement lié à la possibilité de modifier l'écoulement en faisant osciller l'obstacle. Von Karman a placé un obstacle cylindrique sur le trajet d'un écoulement parallèle. Selon le nombre de Reynolds  $Re$  de l'écoulement on observe des comportements distincts. Pour les valeurs de  $Re$  faibles, l'écoulement est laminaire. Pour les valeurs de  $Re > 46$  on obtient ce que l'on appelle une allé tourbillonnaire alternée de Bénard-Von Karman comme la montre la figure II.4.



**Figure II.6 :** Allée tourbillonnaire alternée de Bénard-Von Karman [44].

### II.5 Domaines d'application

Parmi les applications des l'obstacle ont peut citer : les profils NACA d'une l'aille d'avion. Les types de refroidissement dans les échangeurs et radiateurs, les aubes d'une turbine industrielle qui entraînent les bateaux.

### II.6 Formulations mathématiques

L'écoulement d'un fluide visqueux autour d'un obstacle est régit par les équations classiques de mécanique des fluides, à savoir les équations de continuité et de quantité de mouvement. De ce fait, la modélisation numérique du problème physique doit impérativement passer par la résolution numérique de ses équations.

#### II.6.1 Equation de continuité

L'équation de la continuité doit traduire le principe de conservation de la masse. Elle traduit mathématiquement le fait que la masse contenue dans un volume de contrôle est conservée, donc la masse est conservée au cours du temps. La forme générale de cette équation est donnée par l'expression suintante :

$$d\rho/dt + \rho \times \text{div}\vec{V} = 0 \quad (\text{II.3})$$

Ou,

$\vec{V}$  est le vecteur vitesse de l'écoulement exprime en (m/s) tel que :  $\vec{V} = U_x + V_y$

$U_x, V_y$  sont les composantes de vecteur de la vitesse d'écoulement dans les directions X et Y, respectivement.

$\rho$  est la masse volumique du fluide ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

## Chapitre 2 : Notions de base & Formulations mathématiques

---

Si le fluide est incompressible, la masse volumique  $\rho$  est constante et on aura :

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\partial\rho}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.4})$$

L'équation de continuité pour un écoulement incompressible bidimensionnel s'écrit sous la forme :

$$\text{div}\vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Donc : 
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.5})$$

### II.6.2 Equations de quantité de mouvement

Les équations de quantité de mouvement (ou de Navier Stokes) sont des équations aux dérivées partielles non linéaires qui sont censées décrire le mouvement des fluides newtoniens dans l'approximation des milieux continus. La forme générale de ces équations est présentée comme suit :

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \vec{f} - \overrightarrow{\text{grad}p} + \mu \Delta \vec{v} \quad (\text{II.6})$$



## Chapitre2 : **Notions** de base & Formulation mathématiques

---

Et qui peut s'exprimer comme suit :

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \overrightarrow{\text{grad}p} + \nu \Delta \vec{v} \quad (\text{II.7})$$

Dans la précédente équation :

$\nu$  représente la viscosité cinématique ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).

$\mu$  représente la viscosité dynamique ( $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ).

$\rho$  désigne la masse volumique du fluide ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

P représente la pression exercée par une force F sur une surface S, exprimée en ( $N/m^2$ ).

$\vec{f}$  désigne la résultante des forces massiques s'exerçant dans le fluide.

Si on suppose que l'écoulement est bidimensionnel et incompressible, nous projetons l'équation II.5 sur les axes X, Y, et étant donné que  $U_X, V_Y$  sont les composantes de vitesse selon X, Y respectivement, donc nous obtenons :

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + U \frac{\partial u}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.8})$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + U \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.9})$$

La force exercée sur un corps par un fluide en écoulement dans la même direction que l'écoulement est appelée traînée. La force de traînée est due aux effets combinés de la pression et aux contraintes visqueuses agissant sur le corps. D'une façon générale, l'effet du fluide peut commodément être résolu dans deux composantes, la normale de pression p sur la surface et l'effort de cisaillement le long de la surface.

Traînée : composante parallèle à la vitesse de l'écoulement à l'infini.

Portance : composante perpendiculaire

## Chapitre2 : Notions de base & Formulation mathématiques

---

Le coefficient de traînée  $CD(t)$  dépendant du temps et le coefficient de portance  $CL(t)$  de cylindre sont obtenus en intégrant la pression instantanée et vorticité sur la surface du cylindre .

$$Cl(t) = \frac{Fl(t)}{0,5\rho DU_2^2} = - \int_0^{2\pi} P(t) \sin \theta d\theta - \int_0^{2\pi} \frac{1}{Re} \omega(t) \cos \theta d\theta \quad (\text{II.10})$$

$$Cd(t) = \frac{Fd(t)}{0,5\rho DU_2^2} = - \int_0^{2\pi} P(t) \cos \theta d\theta - \int_0^{2\pi} \frac{1}{Re} \omega(t) \sin \theta d\theta \quad (\text{II.11})$$

où

$Fd(t)$  et  $Fl(t)$  sont les forces totales de traînée et de portance, respectivement;

$\rho$  est la densité du fluide;

$\theta$  est un angle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, mesurée à partir de la direction positive de l'axe des x à la ligne qui relie le centre du cylindre et un point sur la surface du cylindre;

et  $\omega(t)$  est la vorticité locale,

$$\text{et } \omega(t) = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Le coefficient de traînée moyen  $\overline{CD}$  est exprimé par

$$\overline{Cd} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t_1}^{t_2} C_d(t) dt \quad (\text{II.12})$$

où  $\Delta T = t_2 - t_1$  est la période de temps intégrale lorsque le temps L'historique du coefficient de traînée est stable.

De même, la portance moyenne Le coefficient  $CL$  peut être défini comme suit

$$\overline{Cl} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t_1}^{t_2} C_l(t) dt \quad (\text{II.13})$$

### :Conclusion

On conclue qu'on a deux types de régimes d'écoulements : régime laminaire & régime turbulent. Le nombre de Reynolds est la base pour définir le type de régime, Ce dernier caractérise l'apparition de la turbulence .



# Chapitre 03

| résultats & discussion |

## Chapitre 3 :

### Introduction :

La simulation numérique joue un rôle important dans les problèmes d'ingénierie, ce qui en fait un outil essentiel pour étudier et prédire la turbulence du point de vue d'applications de plus en plus complexes. Ce progrès a fait de la modélisation numérique de l'écoulement ou CFD (Computational Fluid Dynamic) un outil de plus en plus important pour le développement et l'optimisation du dimensionnement de différents procédés industriels

- A l'entrée du canal : une vitesse  $U$ .
- A la sortie du canal : pression de sortie imposée  $P_{out}=0$  et conditions d'établissement.
- Sur les parois du canal : conditions de non glissement.

La vitesse d'entrée est calculée à partir du nombre de Reynolds défini par

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu}$$

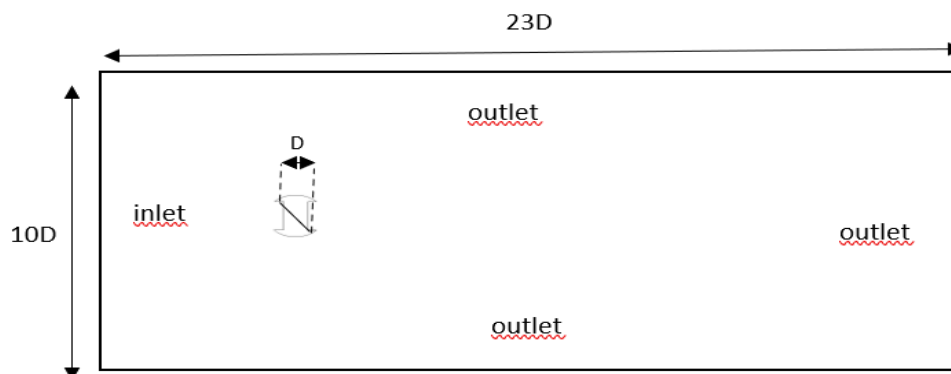
Avec :

$U$  Représente la vitesse de l'écoulement, exprimée en (m/s).

$D$  Représente le diamètre caractéristique, exprimée en (m).

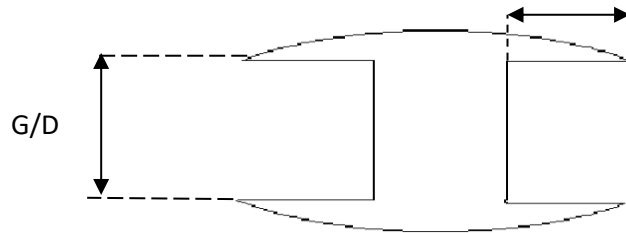
$\rho$  Représente la masse volumique de fluide, exprimée en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\mu$  Représente la viscosité de fluide, exprimée en ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ).



$L/D$

## Chapitre 3 :



**Figure III.1** : Schéma du domaine de calcul et du système de coordonnées

Les conditions aux limites sont les suivantes :

à l'entrée, viscosité  $\mu = 8,899 \times 10^{-4}$  kg/m s, densité  $\rho = 997$  kg/m, nombre de Reynolds  $Re = 200$  et  $\partial p / \partial x = 0$ .

Le long de la frontière de sortie, des conditions d'écoulement libre sont considérées, à savoir  $\partial u / \partial x = 0$ ,  $\partial v / \partial x = 0$  et la pression relative  $p = 0$ .

Les conditions aux limites sans glissement sont considérées sur le cylindre.

Les conditions aux limites sans glissement sont considérées sur les surfaces du cylindre :

Des conditions aux limites symétriques sont considérées le long de la frontière supérieure : à savoir  $\partial u / \partial y = 0$ ,  $v = 0$ , et  $\partial p / \partial y = 0$ .

Les conditions d'entrée sont celles d'un écoulement parallèle uniforme :

$$u = U ; v = w = 0.$$

### III.1 Présentation du logiciel de calcul :

ANSYS est un logiciel de simulation numérique FEM leader de son marché utilisé dans le développement de produits industriels. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une simulation : le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats et l'optimisation. ANSYS offre une plateforme de calcul multiphysique intégrant la mécanique des fluides et des structures, l'électromagnétisme, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits. Dans ce travail, la simulation numérique a été réalisée à l'aide d'un code de calcul : ANSYS-CFX 19.0. Son principe repose sur la méthode des éléments finis.

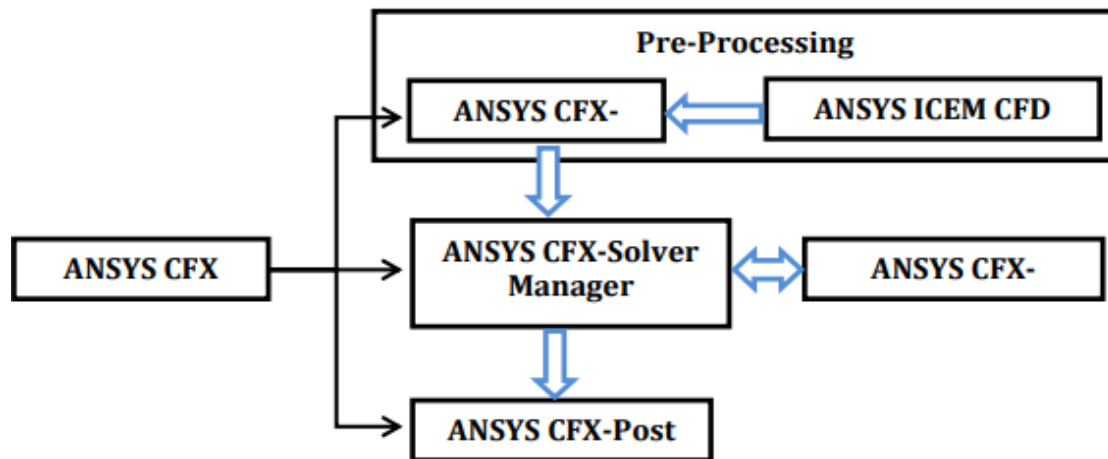


Figure III.2 : La structure générale du code ANSYS-CFX. [1]

### III.2 La méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles. Celle-ci peuvent par exemple représenter analytiquement le comportement dynamique de certains systèmes physiques (mécaniques, thermodynamiques, acoustiques, etc.).

La méthode des éléments finis permet donc de résoudre de manière discrète une EDP dont on cherche une solution approchée (suffisamment) fiable. De manière générale, cette EDP porte sur une fonction  $F$ , définie sur un domaine. Elle comporte des conditions aux bords permettant d'assurer l'existence et l'unicité d'une solution.

La méthode des éléments finis est une approche très mathématique, difficile à mettre en œuvre pour la résolution des termes non-linéaires, elle s'adapte à une géométrie quelconque, comme elle est très utilisée dans le domaine de la mécanique des solides [33].

ANSYS CFX fait partie d'un ensemble de logiciels de la Dynamique des Fluides Numérique (CFD), qui permet la simulation numérique de l'écoulement turbulent qui combine un solveur avancé avec un préprocesseur et un post-processeur de capacités puissantes.

Le CFX a de nombreuses caractéristiques qui en font un excellent investissement :

## Chapitre 3 :

---

- Un résolveur avancé qui est à la fois fiable et robuste.
- Une intégration parfaite de la définition du problème, son analyse et la présentation des résultats.
- Une mise au point intuitive et interactive utilisant des menus et des graphiques avancés. Le CFX dans la version ou le code 17.0, est divisé en 4 modules :
  - DESIGNE MODELER.
  - CFX-pre.
  - CFX-solver.
  - CFX-post

### III.3 Choix du type de maillage

#### III.3.1-Maillage structuré( quadra/hexa)

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie à multi bloc, il présente les avantages suivants :

Economique en nombre d'éléments , présente un nombre inférieur de maille par rapport à un maillage non structuré équivalent.

- Réduit les risques d'erreurs numériques car l'écoulement est aligné avec le maillage.

Ses inconvénients sont :

- Difficile à le générer dans le cas d'un géométrie complexe
- Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes

#### III.3.2-Maillage non structuré (tri /tétra)

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition.

Ses avantages :

- .peut être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité



## Chapitre 3 :

---

des éléments

- Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tetra) sont très automatisés

Ses inconvénients :

- Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré.
- Engendre des erreurs numériques (fausse diffusion ) qui peuvent être plus importante si l'on compare avec le maillage structuré.

### **III.3.3-Maillage hybride**

C'est un maillage généré par un mélange d'éléments types , triangulaires ou quadratiques en 2D, tétraédrique, prismatiques , ou pyramidaux en 3D.

Ses avantages :

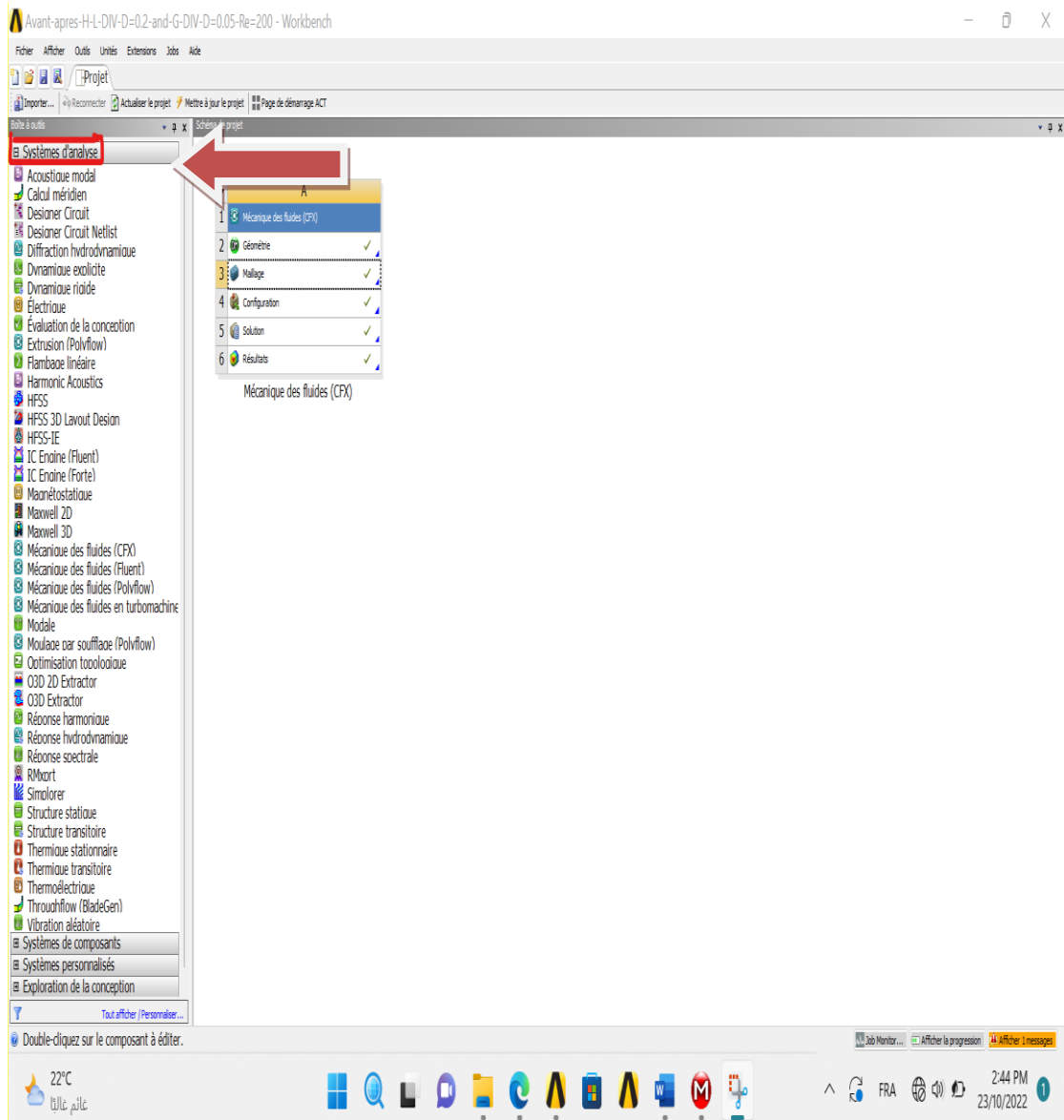
- Combine entre les avantages du maillage structuré et ceux du maillage non structuré.

Techniques générales de génération du maillage :

Pratiquement, il n'existe pas de règle précise pour la création d'un maillage valable , cependant il existe différentes approches qui permettent d'obtenir une grille acceptable. Nous pouvons résumer ses règles ainsi :

- Maintenir une bonne qualité des éléments.
- Assurer une bonne résolution dans les régions à fort gradient
- Assurer un bon lissage dans les zones de transition entre les parties à maillage fin et les parties à maillage grossier
- Minimiser le nombre total des éléments ( temps de calcul raisonnable)

## Chapitre 3 :



**Figure III.3** Démarrer notre première simulation sur le CFX.

### III.4 Création de la géométrie

La création de la géométrie est la première étape dans notre simulation. Elle se construit par l'assemblage des formes de base : points, lignes, surfaces et volumes

## Chapitre 3 :

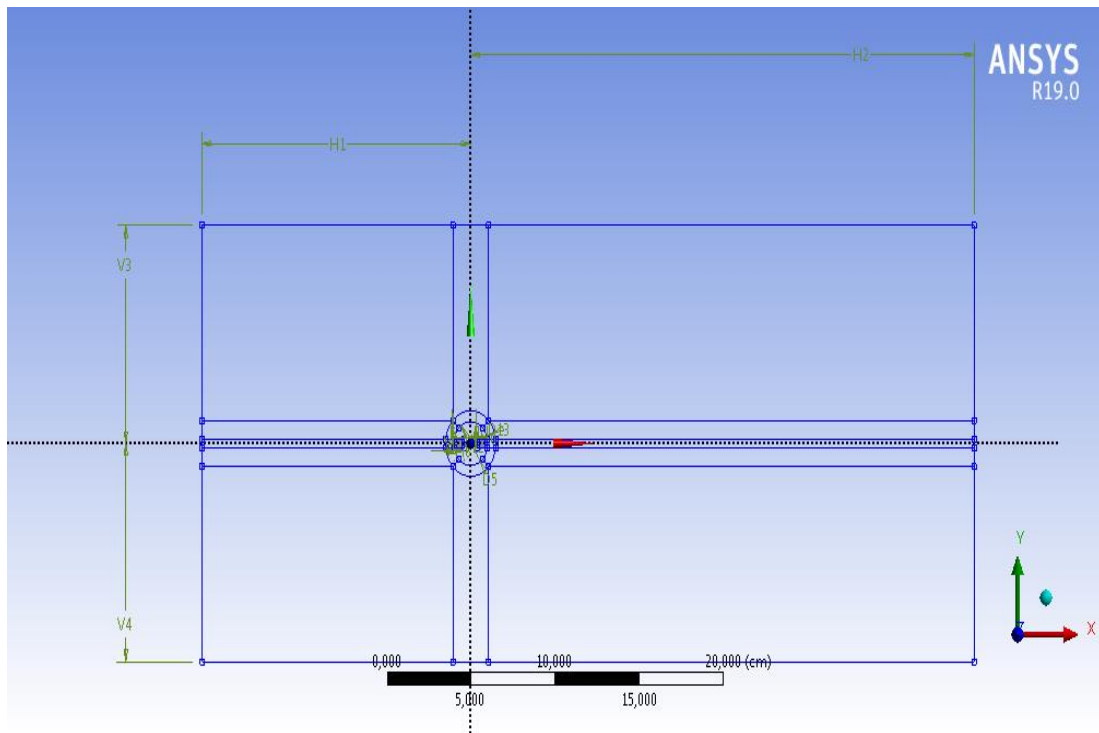


Figure III.4 : géométrie de notre étude (2D) avec cfx. (DesignModeler).

Cotes: 4	
<input type="checkbox"/> H1	16 cm
<input type="checkbox"/> H2	30 cm
<input type="checkbox"/> V3	10 cm
<input type="checkbox"/> V4	10 cm

Cotes: 1	
<input type="checkbox"/> D5	2 cm

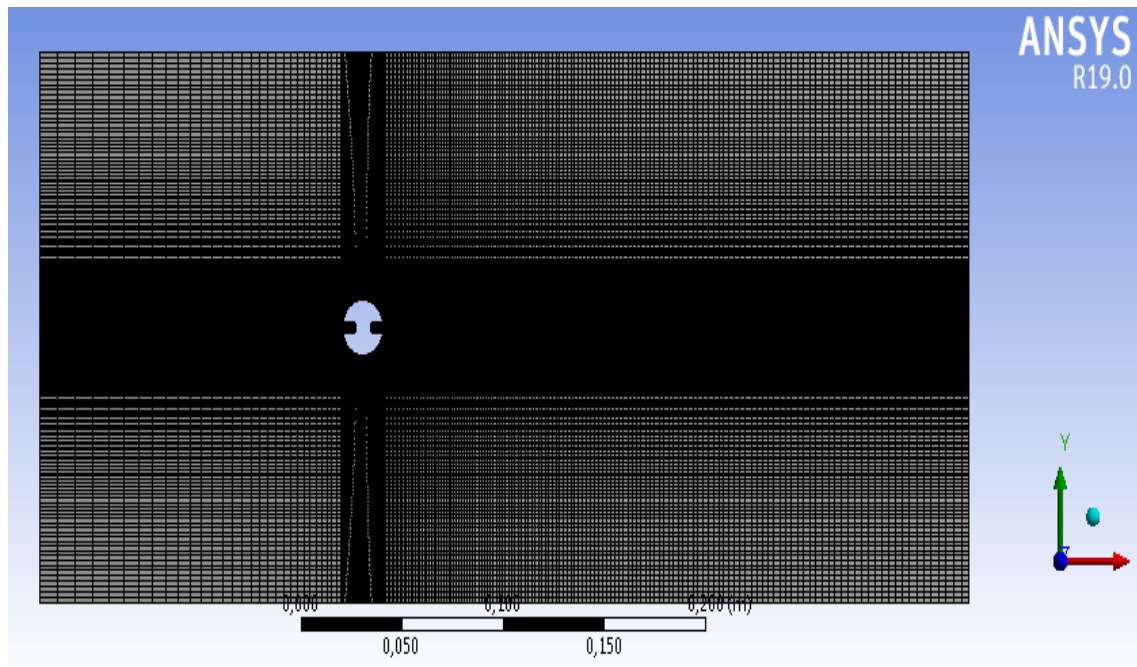
Tableau III.1 : cotes de la géométrie étudiée.

Détails	
Corps	2
Volume	0,48272 cm <sup>3</sup>
Aire	4,9305 cm <sup>2</sup>
Faces	12
Arêtes	24
Sommets	16

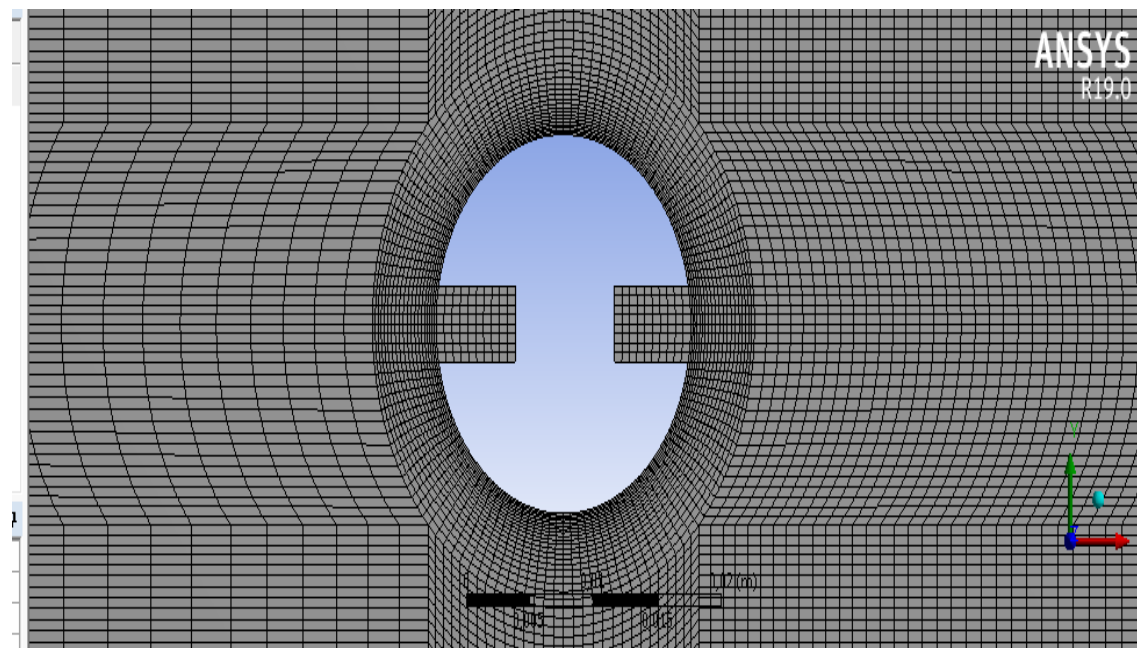
Tableau III.2 : détails du corps surfacique

### III.5 Maillage (CFX-Mesh) :

La création du maillage est la deuxième étape de notre simulation. et c'est le plus important dans la simulation.



**Figure III.5** : maillage de la géométrie étudiée



**Figure III.6** : b) Maillage autour d'un cylindre .

Statistiques	
<input type="checkbox"/> Nœuds	83652
<input type="checkbox"/> Éléments	41340

Taille de face max	2,5006e-002 m
--------------------	---------------

Tableau III.3 : Statistiques de Maillage

Avec l'arborescence suivant :

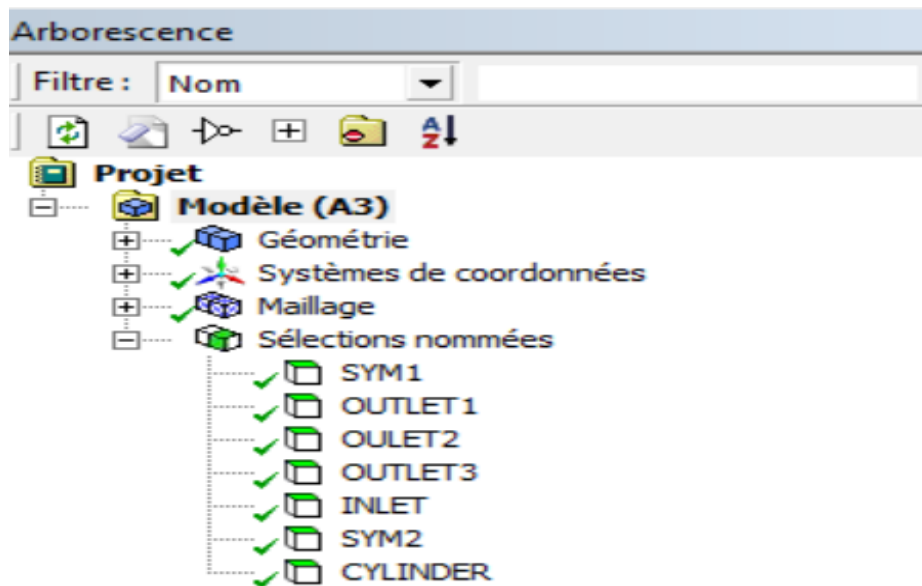


Tableau III.4: arborescence du maillage.

## Chapitre 3 :

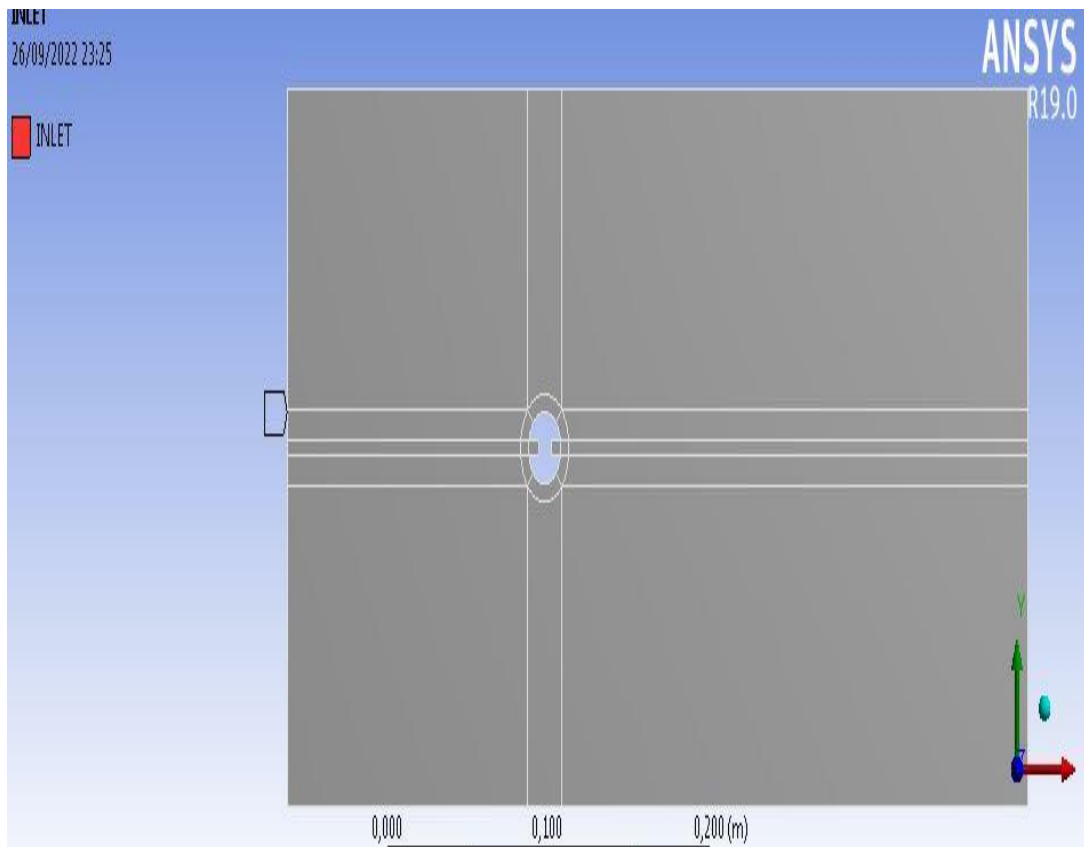
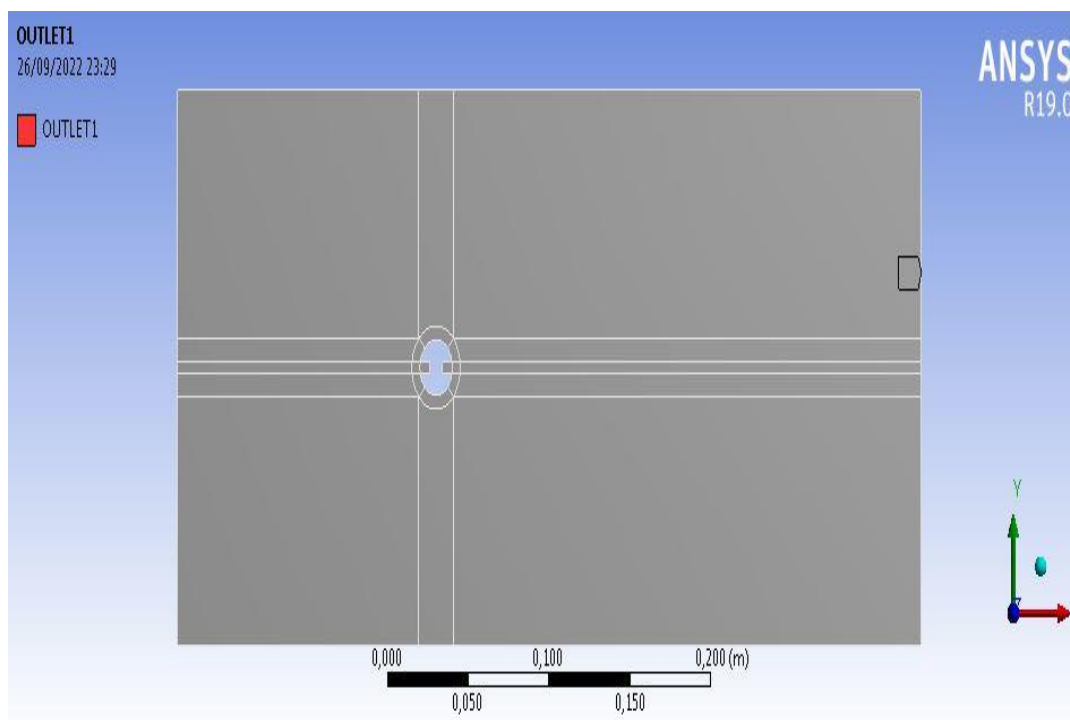


Figure III.7 : l'entré(inlet)



# Chapitre 3 :

Figure III.8 : sortie(outlet)

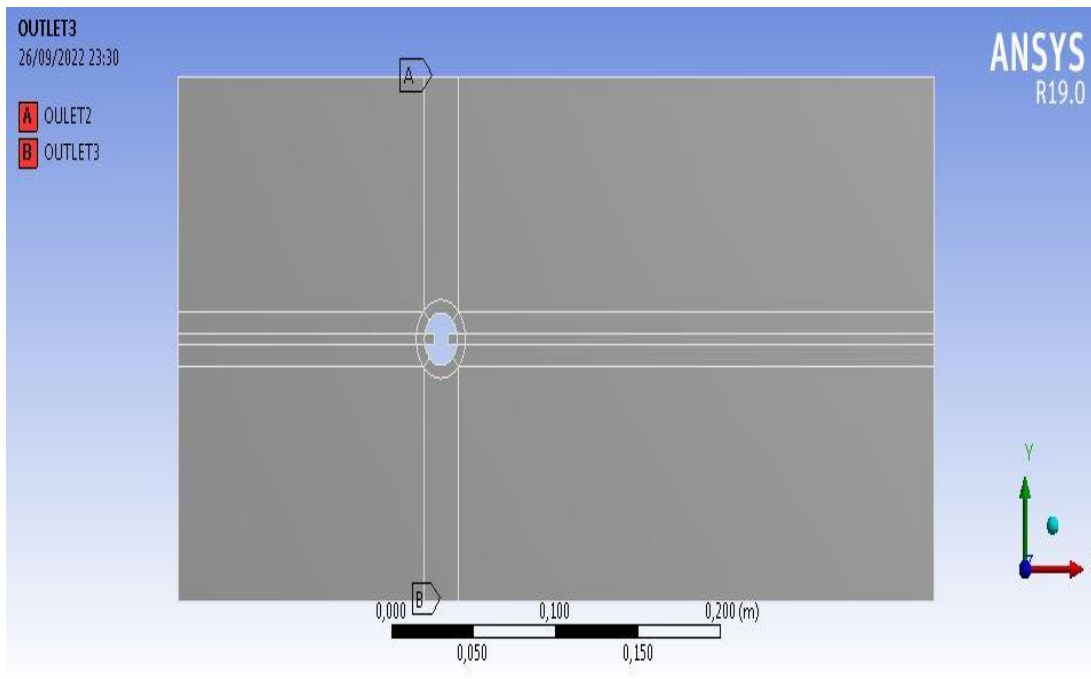
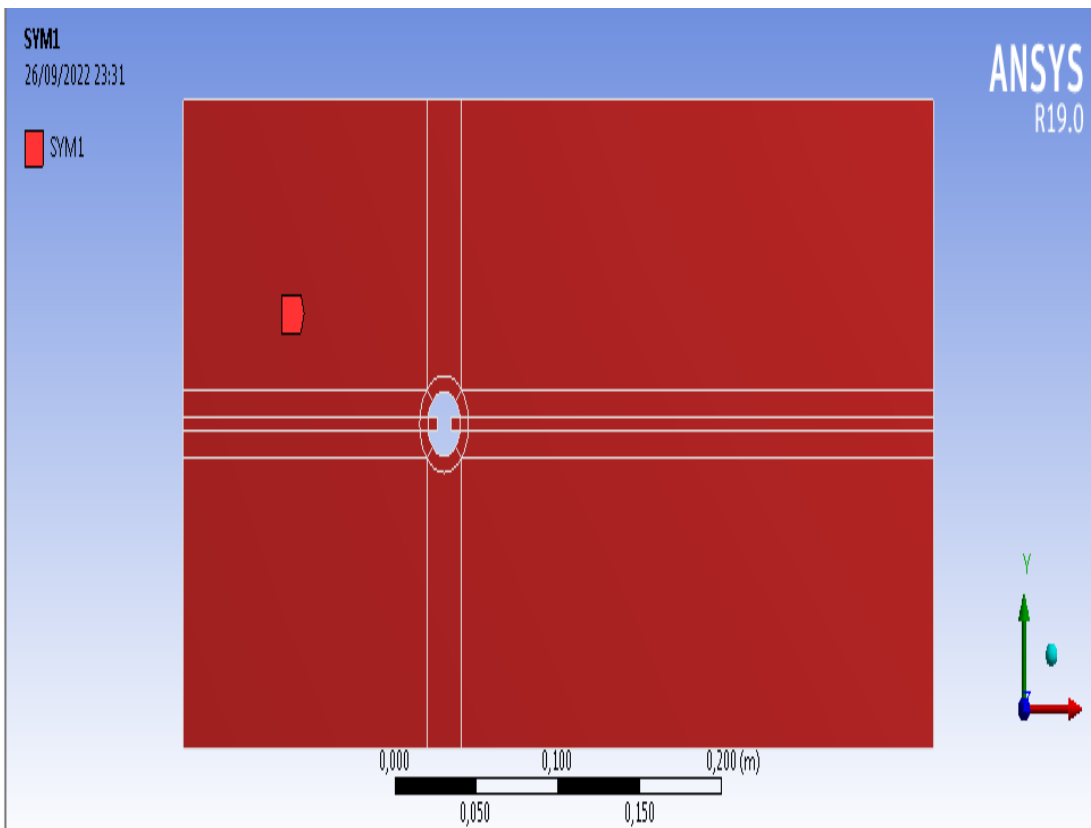


Figure III.9 : paroi(wall)



# Chapitre 3 :

Figure III.10 :symetrie01

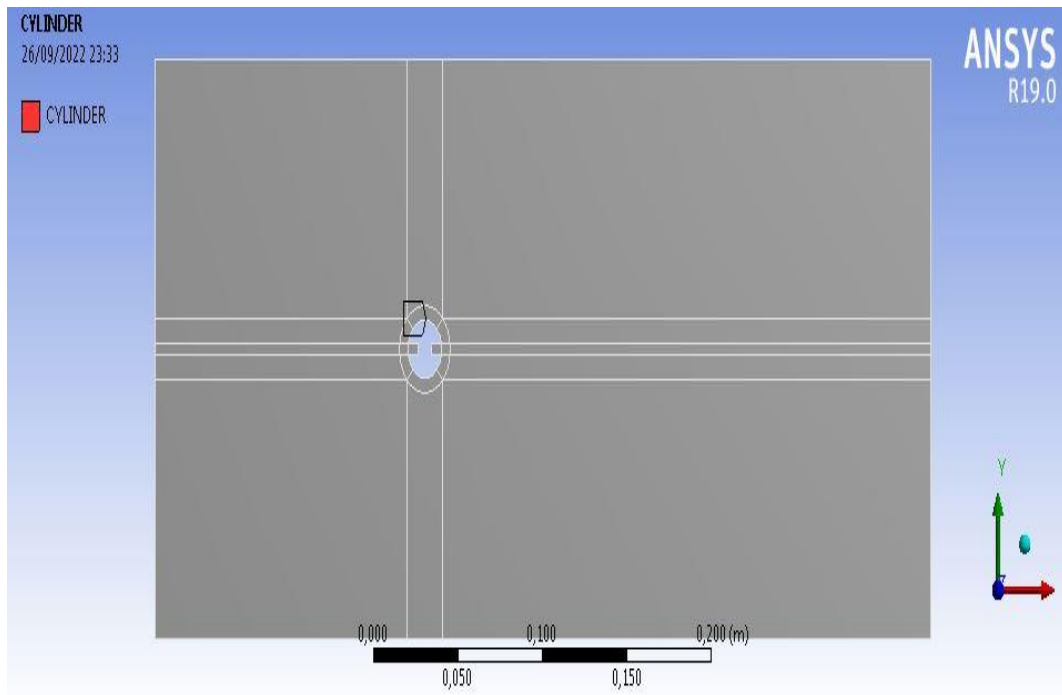


Figure III.11 : l'obstacle (cylindre)

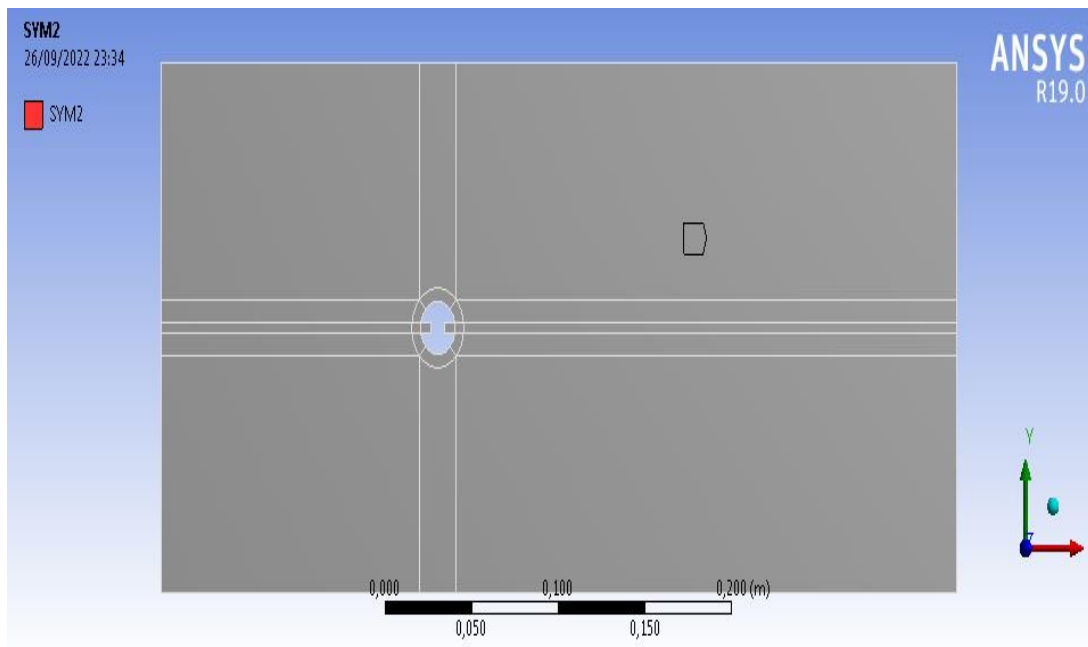


Figure III.12 :symétrie02



## III.6 CFX-pre

Le préprocesseur est utilisé pour configurer les simulations avant de les exécuter. CFX-Pre offre une interface conviviale qui facilite la définition de problèmes CFD complexes. CFX-Pre peut lire plusieurs maillages à partir de diverses sources.

Le processeur ANSYS CFX-Pre, permet d'importer plusieurs maillages, permettant à une section de géométries complexes d'utiliser le maillage le plus approprié. Les conditions aux limites, la physique des écoulements, les valeurs initiales et les paramètres du solveur sont spécifiés dans le processeur ANSYS CFX-Pre.

Dans le code CFX-19.0, il existe un certain nombre de conditions aux limites différentes qui peuvent généralement décrire toutes les limites. Parmi ces conditions, on peut retrouver les conditions de sortie et d'entrée, la condition d'écoulement, la condition de pression, le plan de symétrie, et la condition de paroi. [25].

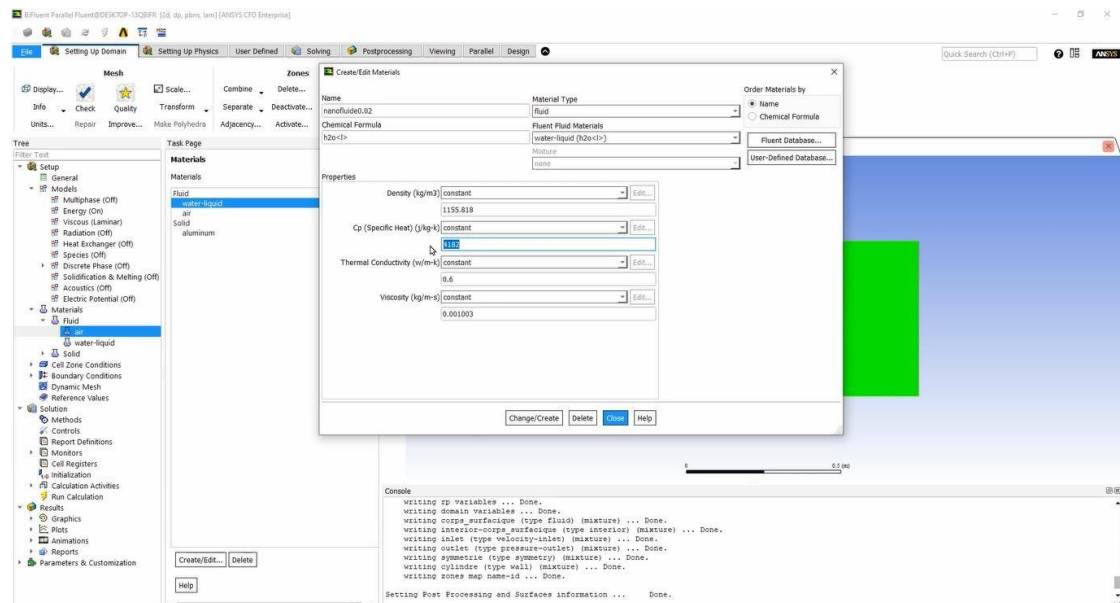


Figure III.13 :Indications des propriété thermo physiques de fluide

## III.7 CFX-Solveur

## Chapitre 3 :

CFX-Solveur permet de résoudre des équations hydrodynamiques pour modéliser le problème physique étudié.

Toutes les spécifications du problème produites dans le module CFX-Pre sont résolues par CFX Solver pour une erreur bien définie ou un nombre d'itération maximale. Le solveur couplé est plus rapide que le solveur traditionnel et moins d'itérations sont nécessaires pour obtenir des résultats de simulation de flux convergés. Le graphique suivant est obtenu après itérations, ce qui est illustré dans la figure (III.10).

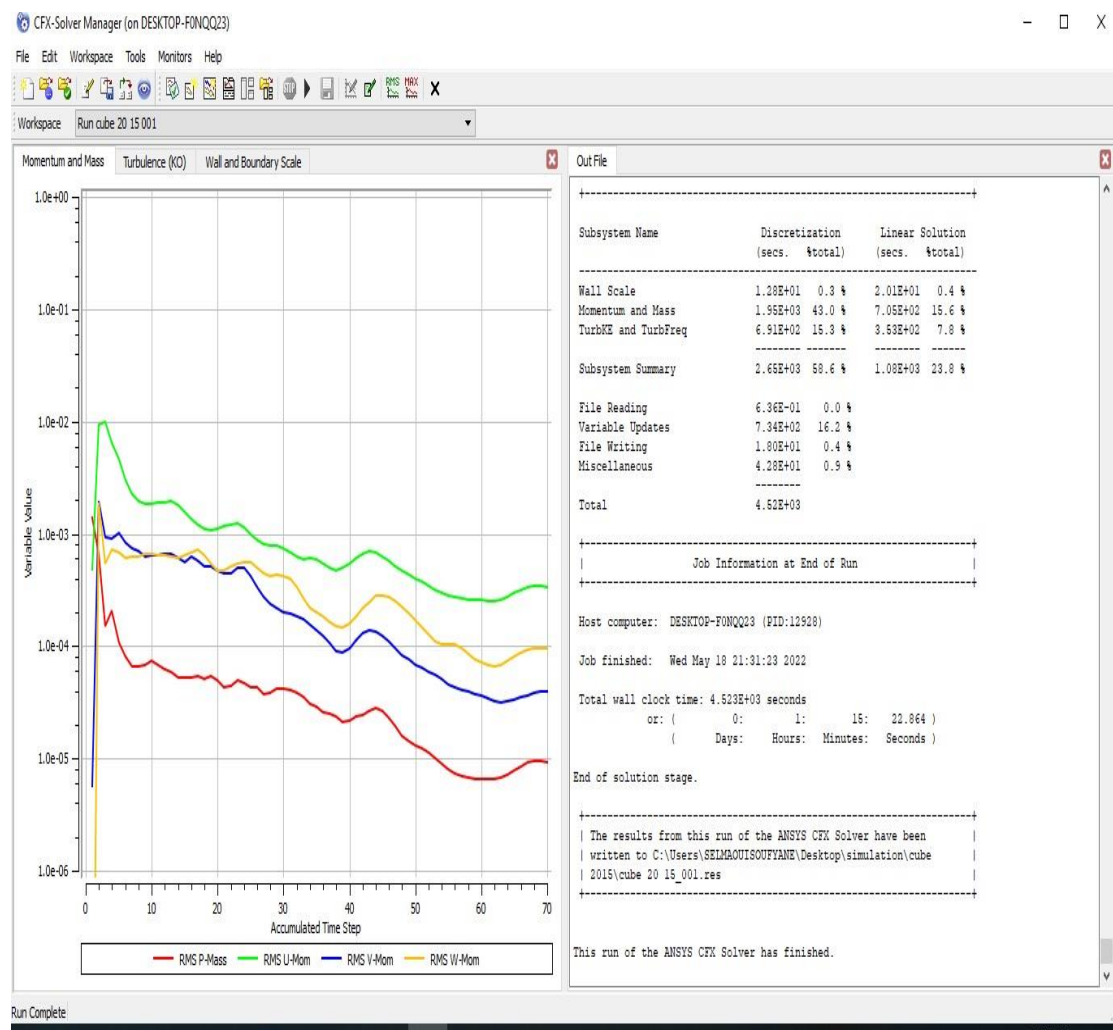


Figure III.14 : Résolution du problème par CFX- Solver.

### III.8 CFX-post

Le CFX-Post fournit les outils graphiques de post-processeur interactifs pour analyser et présenter les résultats de la post-simulation ANSYS CFX.

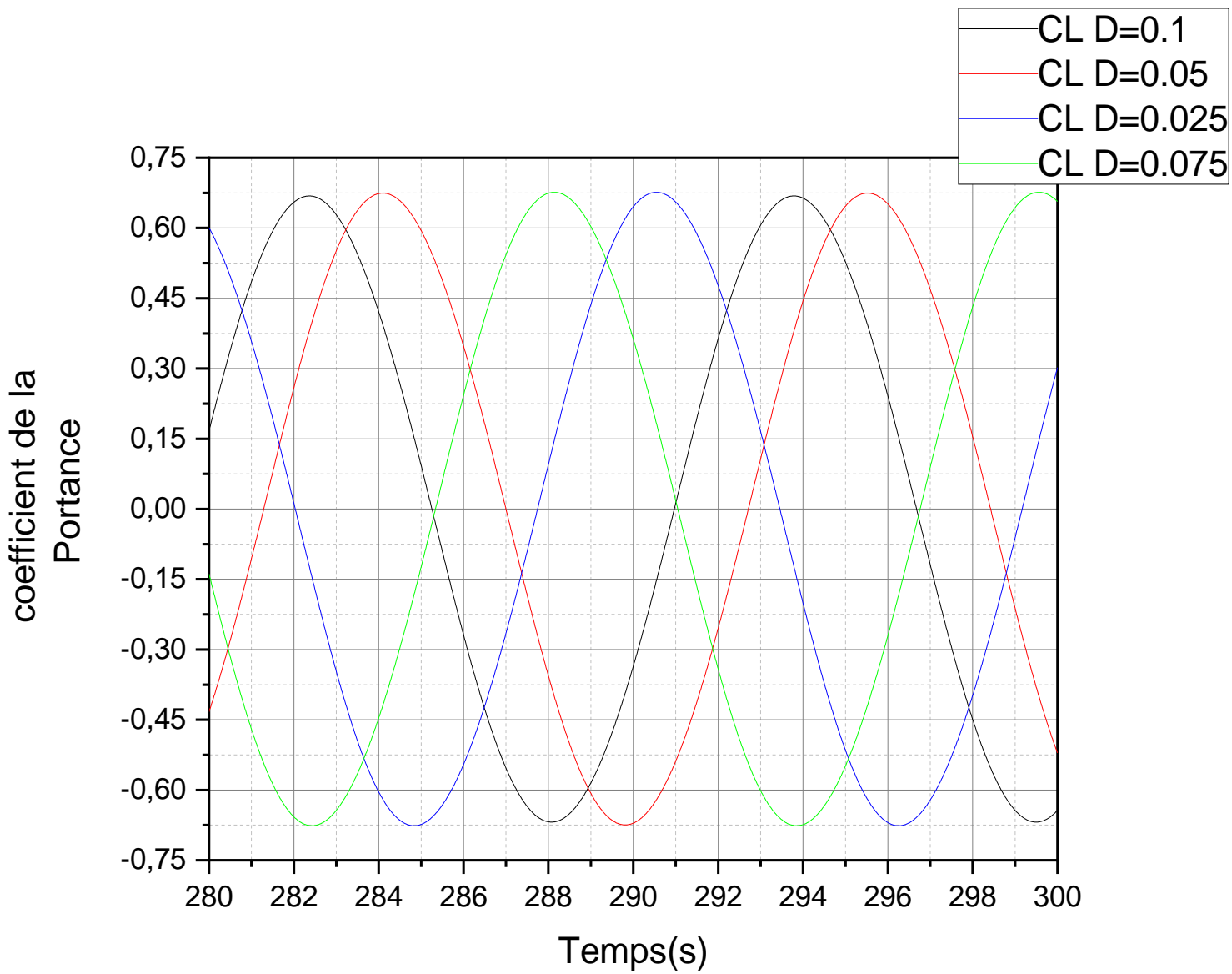
Il est doté de dispositifs importants, tels que :

- Un Post-processeur quantitatif,
- Le champ de vitesse,
- Les contours de pression, vitesse, température.....
- Les lignes de courant,
- Définir et calculer de nouveaux variables,
- entrée de fichier de session ou de fichier d'état,
- Visualiser différents paramètres définis par l'utilisateur,
- Génération d'une variété d'objets graphiques où Transparence, Visibilité, Ligne/Facet rendu des couleurs et contrôlés.

Une fois que CFX-Solver est terminé, le CFX-Post processeur peut être utilisé pour examiner les résultats.

## III.9 Résultats et discussion :

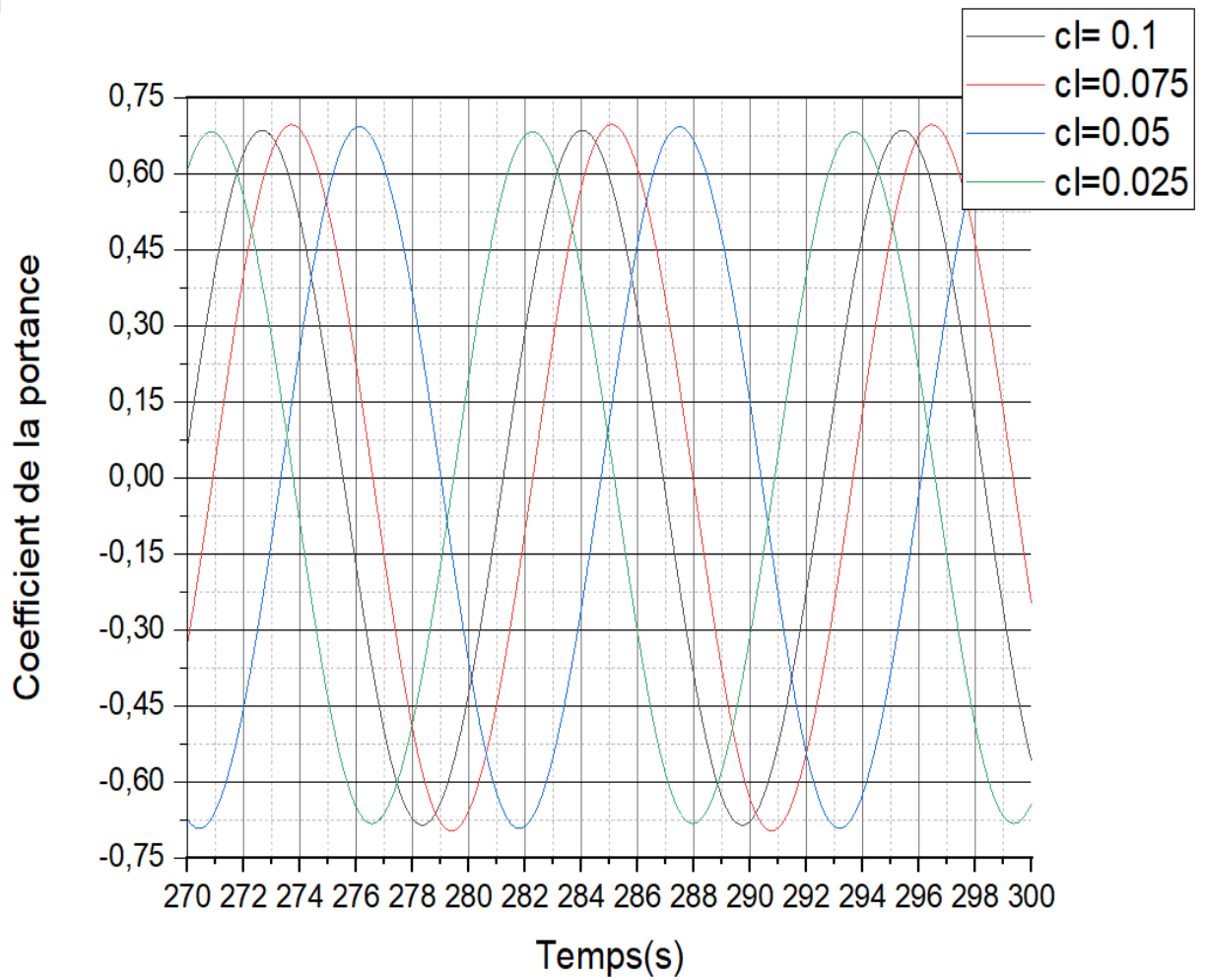
$L/D=0.1$



**Figure III.15:** variation du coefficient de la portance autour de l'obstacle en fonction du temps à  $L/D=0.1$

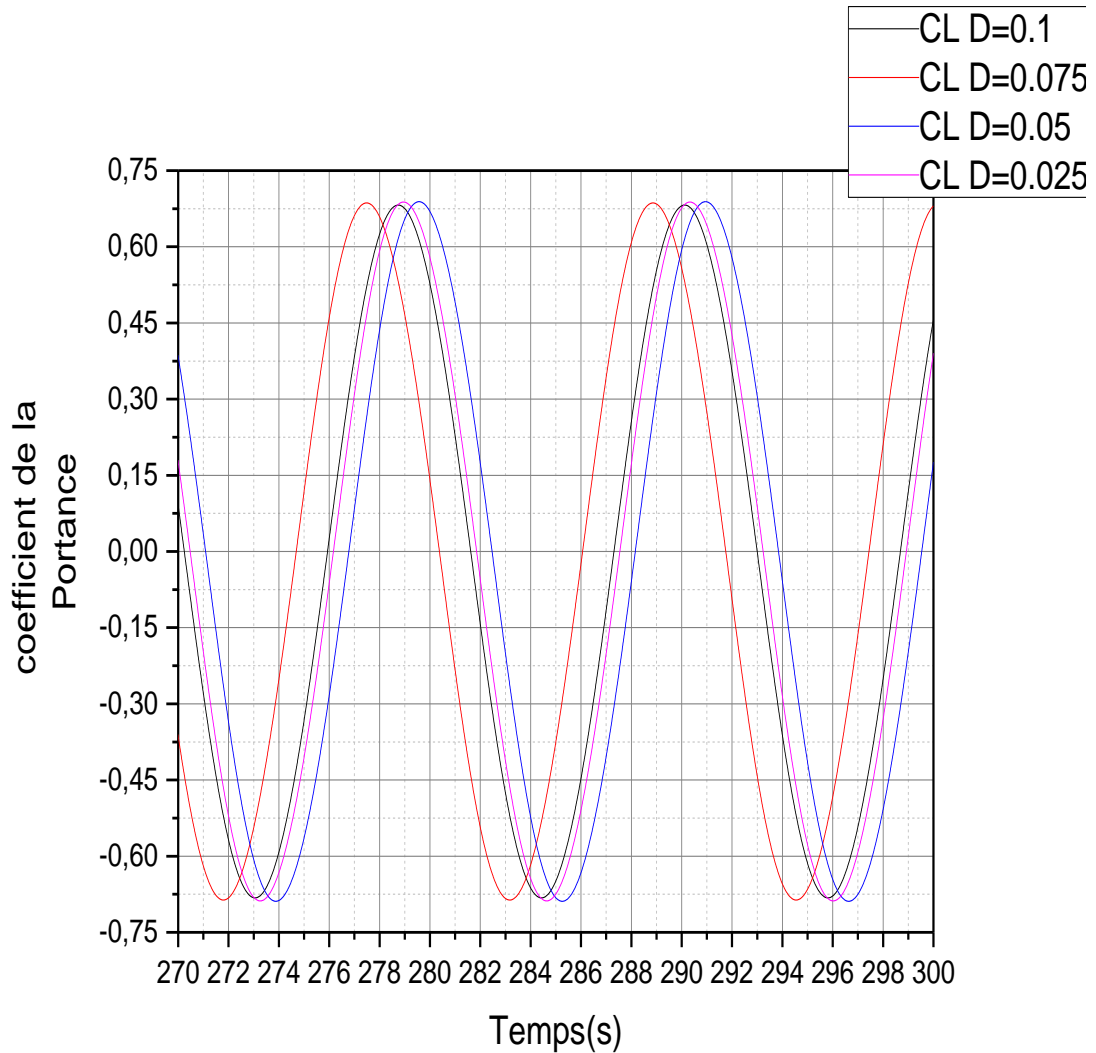
ona bien observé que le coefficient de portance Il ya une périodicité dans l'écoulement avec le sens inverse par a pour le temps.

$L/D=0.2$



**Figure III.16** : variation du coefficient de la portance autour de l'obstacle en fonction du temps à  $L/D=0.2$

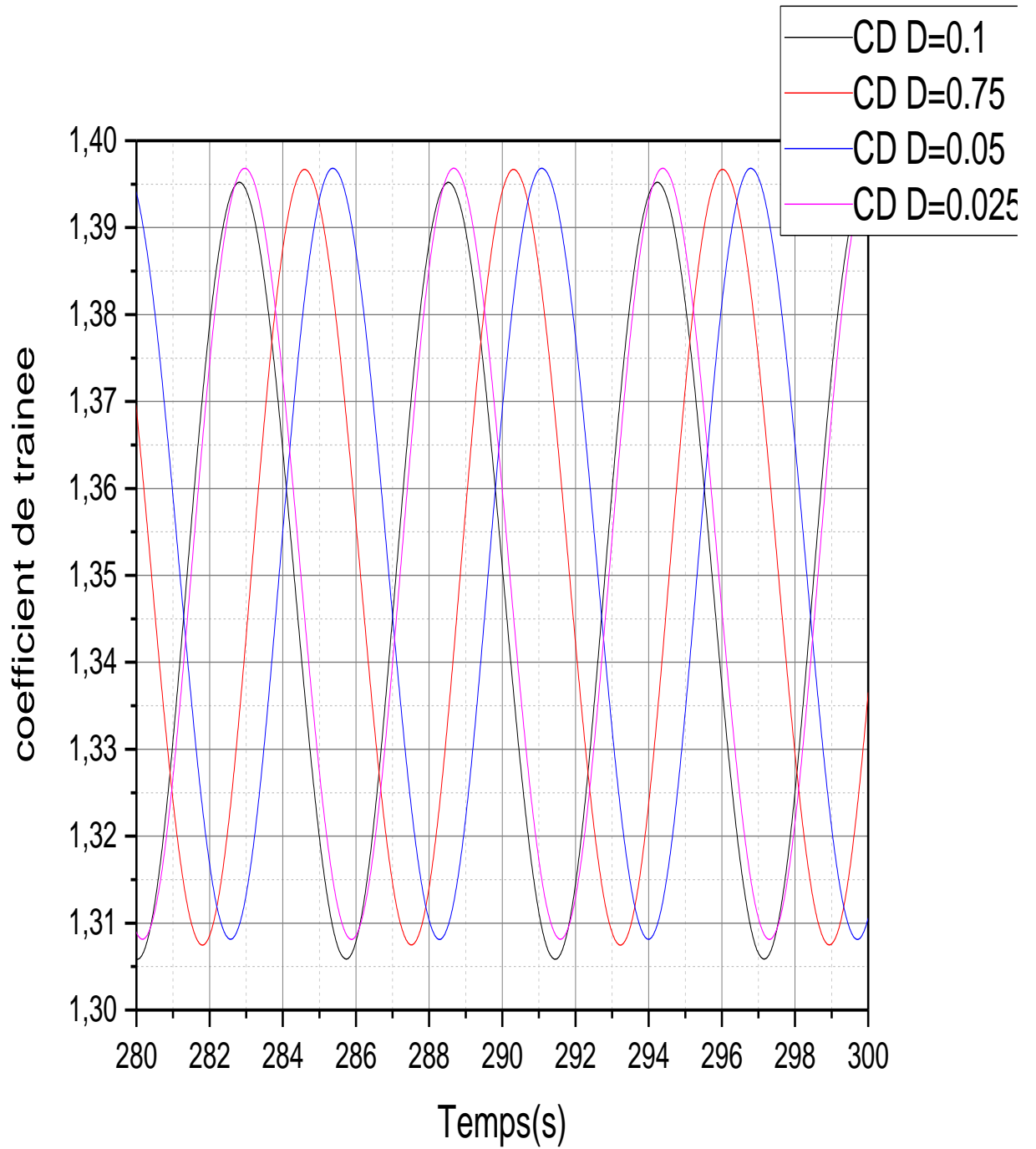
$L/D=0.3$



**Figure III.17** : variation du coefficient de la portance autour de l'obstacle en fonction du temps à  $L/D=0.3$

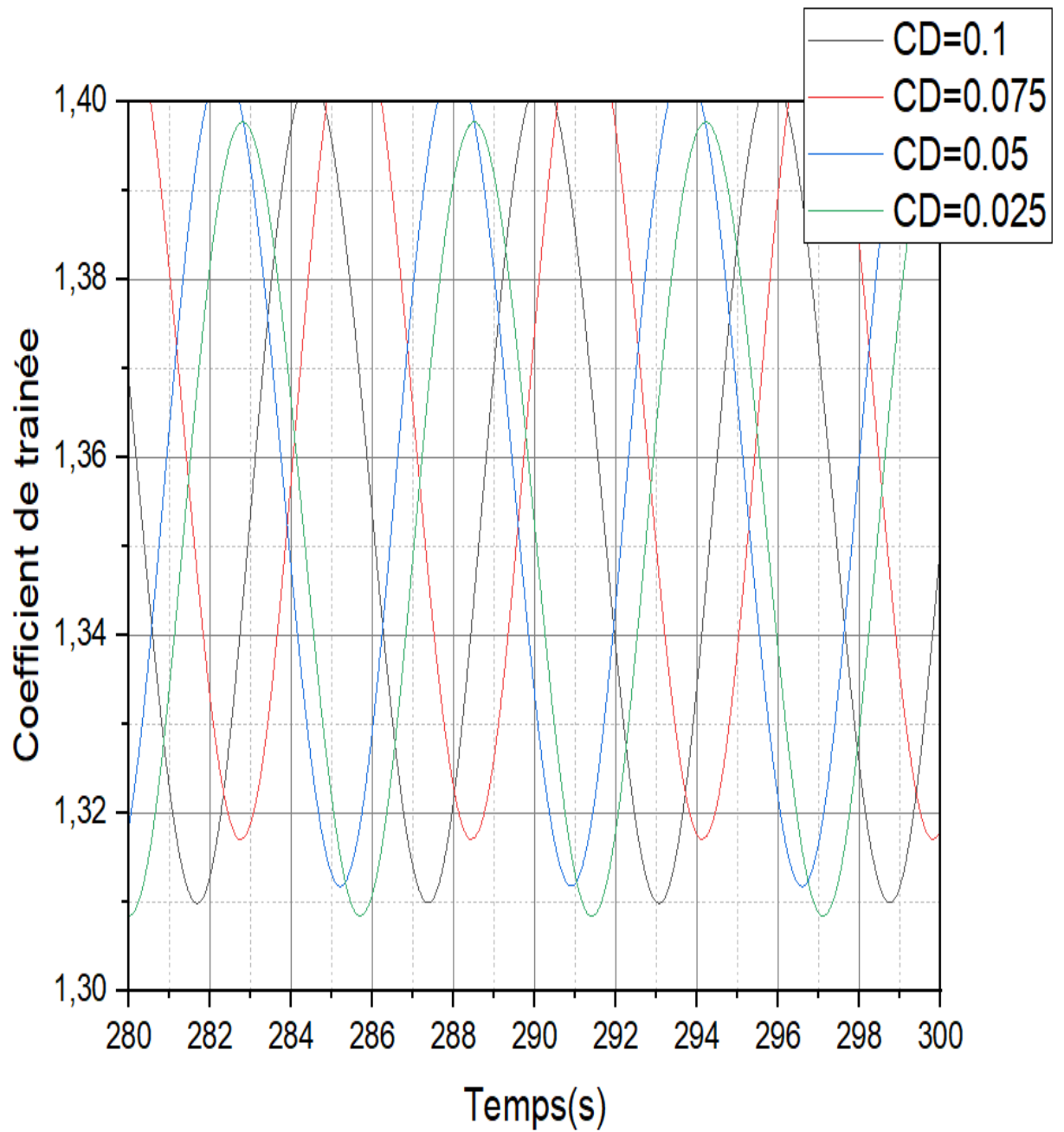
Dans le figure on a vue la variation de la portance est périodique dans l'écoulement avec petit déphasage par a port le temps.

$L/D=0.1$



**Figure III.18:** variation du coefficient de trainée autour de l'obstacle en fonction du temps à  $L/D=0.1$ .

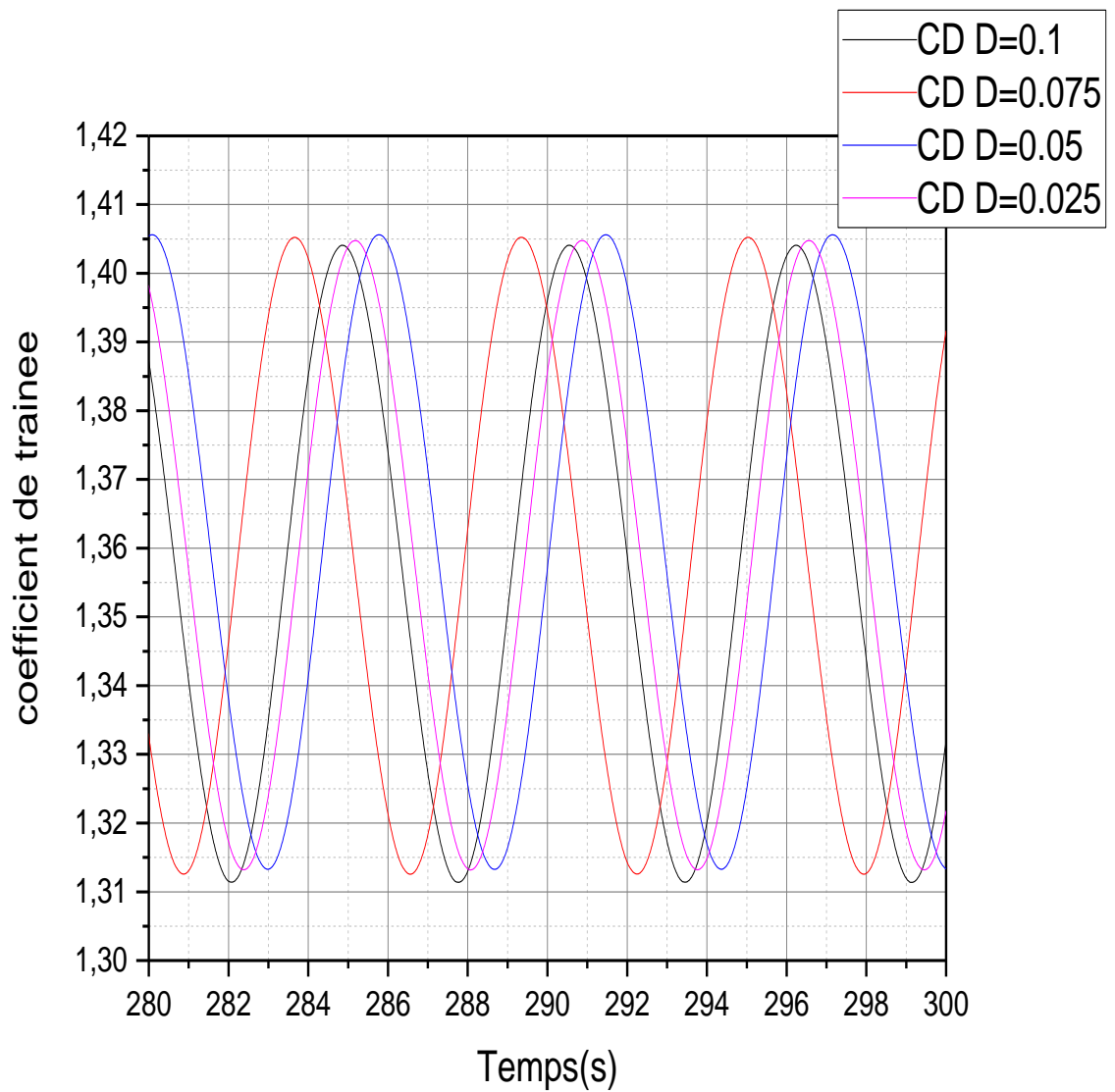
$P=0,2$



**Figure III.19** : variation du coefficient de la trainée autour de l'obstacle en fonction du temps .  $L/D=0.2$

$L/D=0.3$



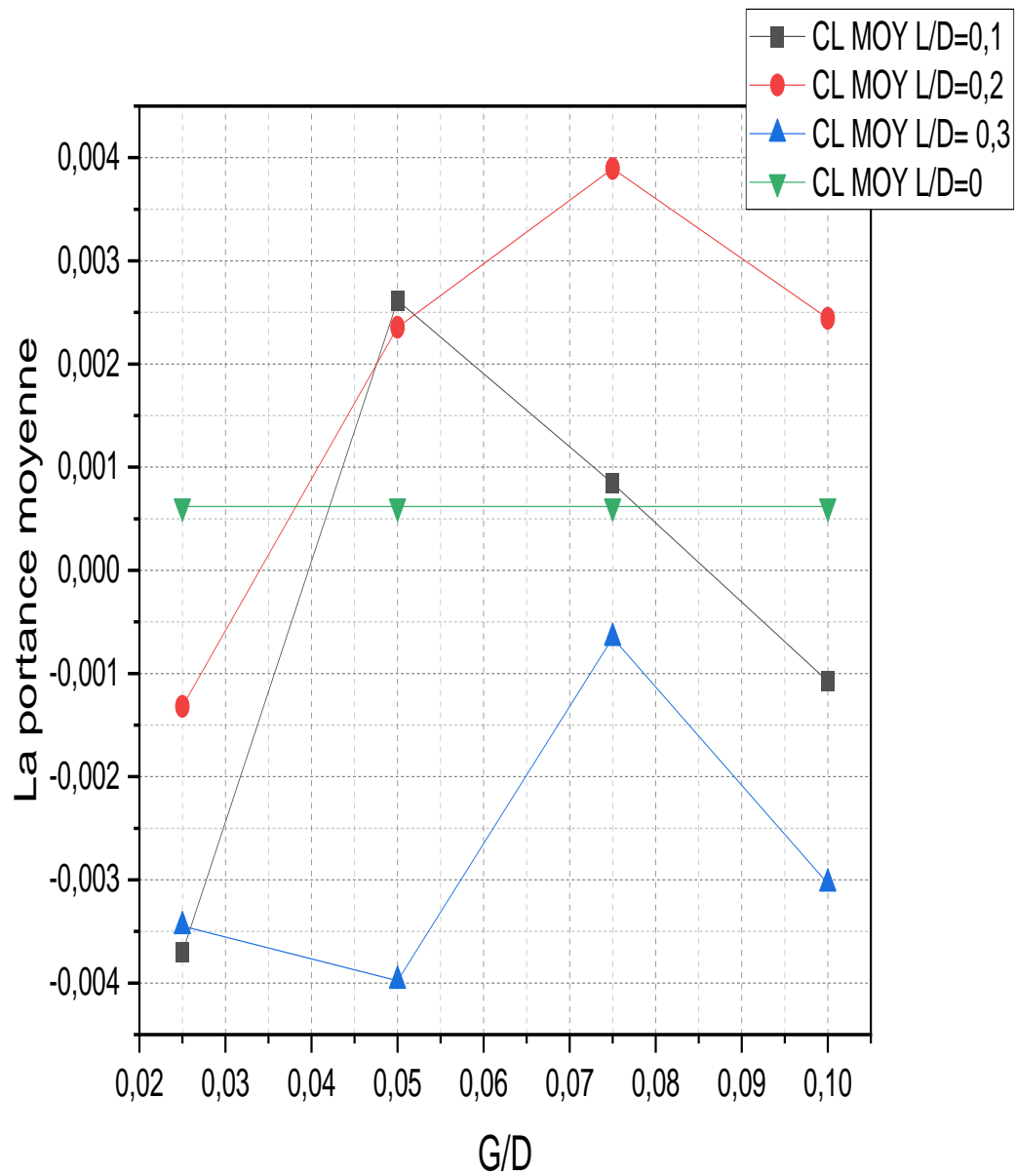


**Figure III.20** : variation du coefficient de la trainée autour de l'obstacle en fonction du temps .  $L/D=0.3$

On observe que les valeurs du coefficient de trainée est positive ,car le sens de l'écoulement et le même sens de la force de trainée.

## Chapitre 3 :

$Re = 200$   $CL_{moy} = 0.00062$   $CD_{moy} = 0.21(45)$



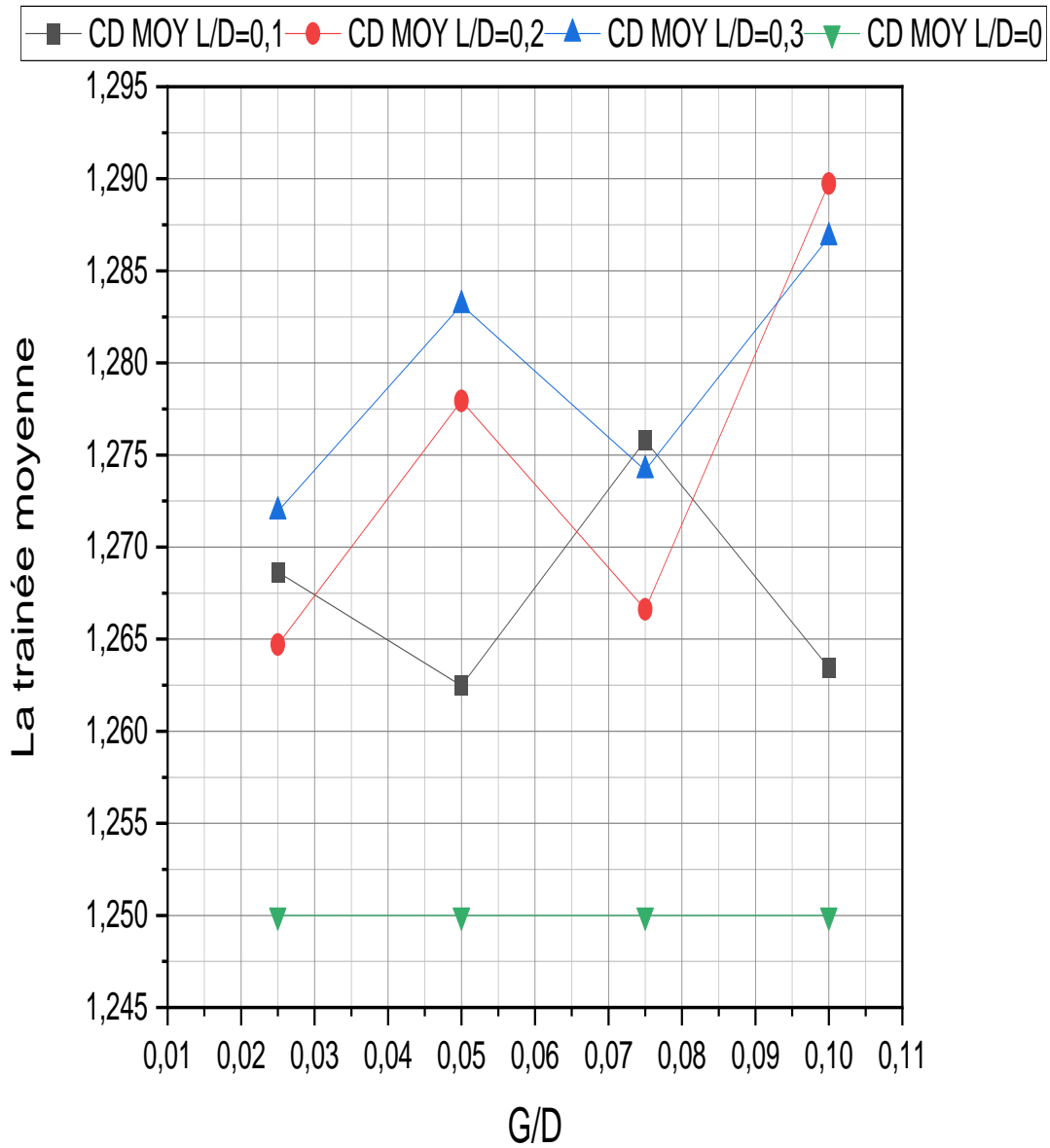
**Figure III.21** : Variation du portance moyenne avec différent démentions de rainure

Dans la figure suivant nous avons observé une déférence de portance quand on a changé la profndeur de 0.1 a 0.3.

Au point 0.075 la portance  $CL=0.2$  est max

Au point 0.05 la portance  $CL=0.3$  est min

On observe que quand la profondeur augmont la portance diminue .



**Figure III.22** : Variation du trainée moyenne avec déférent démentions de rainure

On observe que le coefficient de trainée moyen du cylindre avec rainure est plus grand que celui du cylindre simple .

lorsque (L/D) varie.et très grande le coefficient de trainée augmente et ce coefficient diminue lorsque (L/D) petit .

Variation de la vitesse découlement autour d'obstacle :

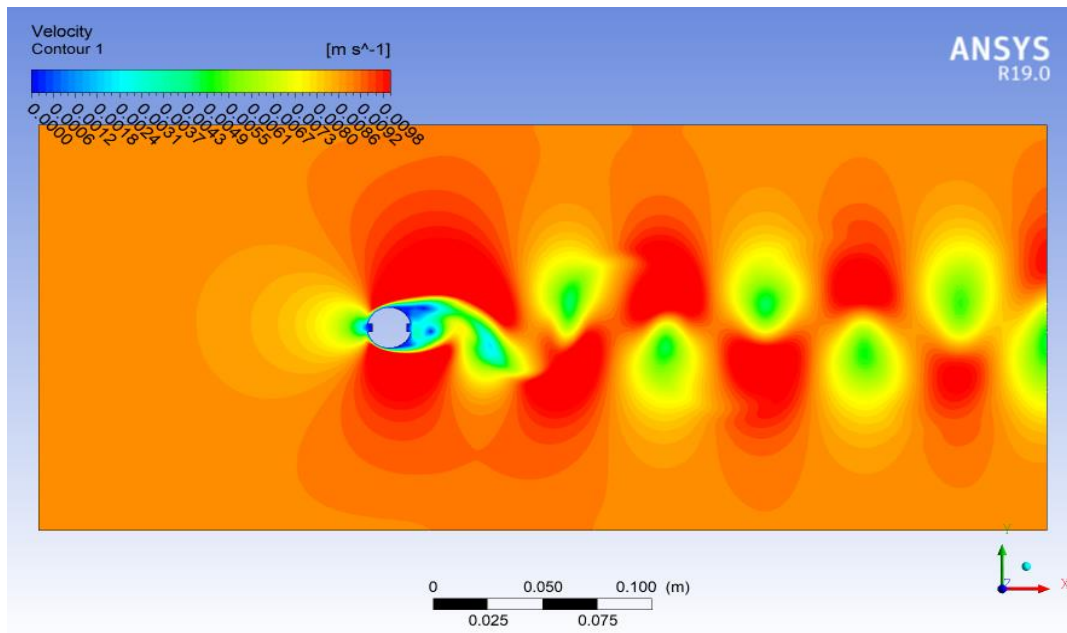


Figure III.23 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.1$

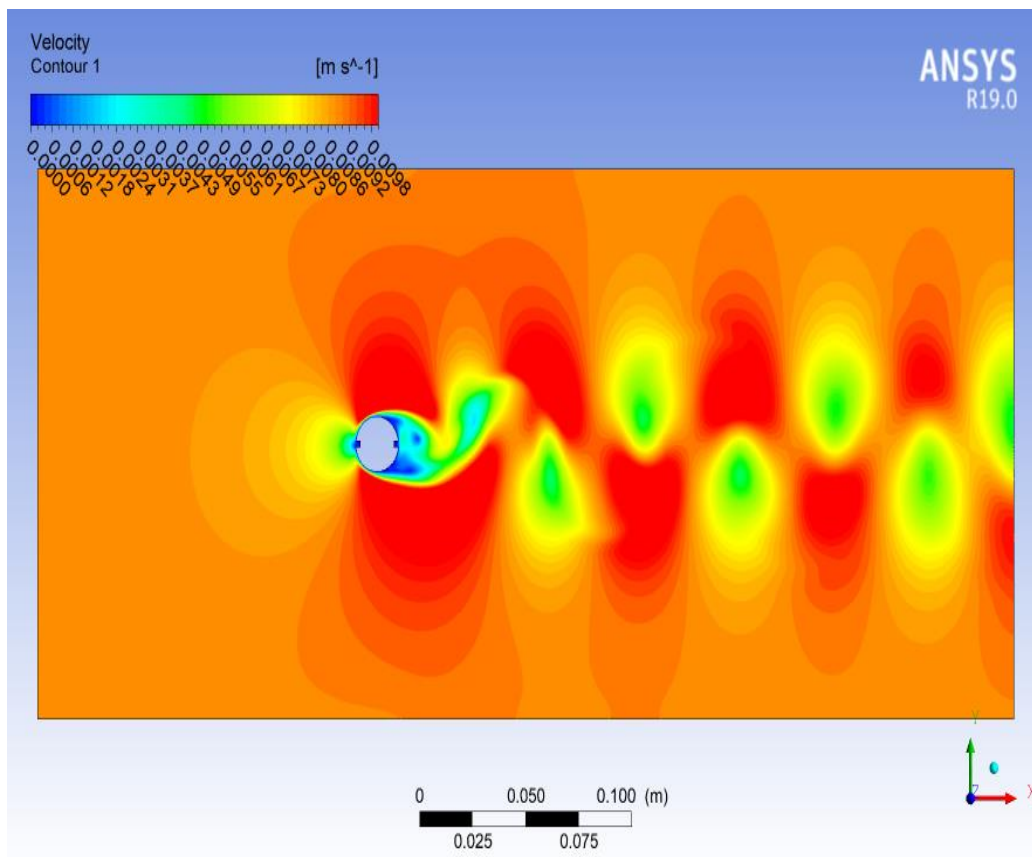


Figure III.24 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.075$

### Chapitre 3 :

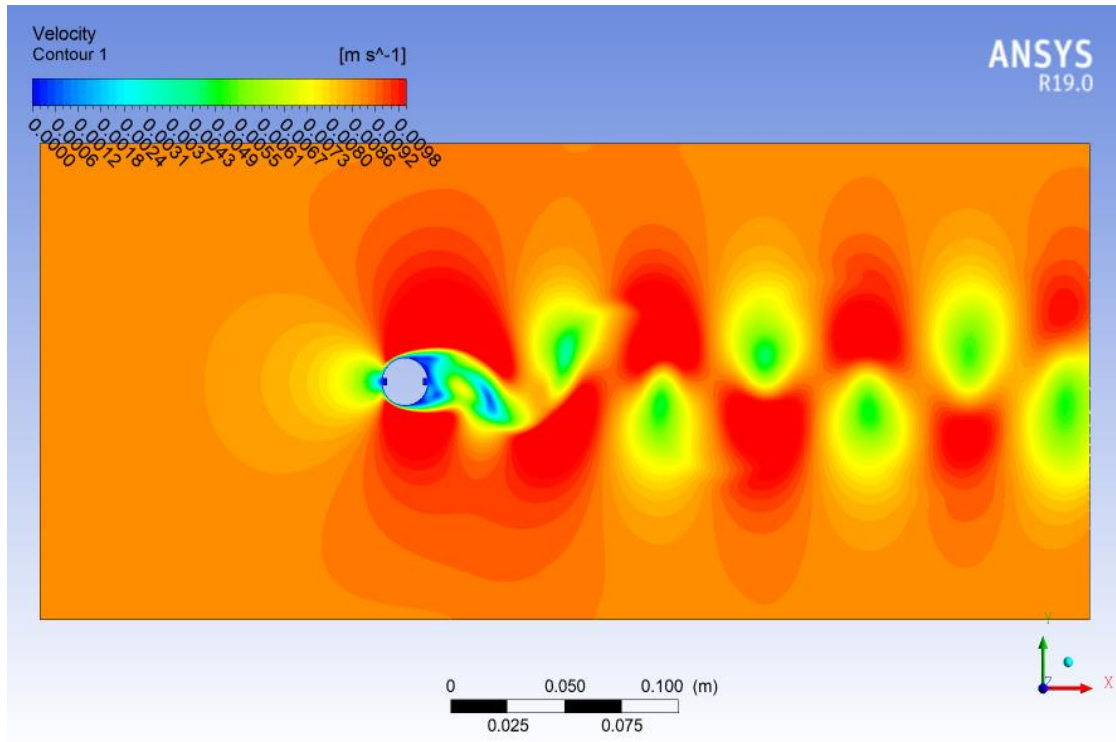


Figure III.25 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.05$

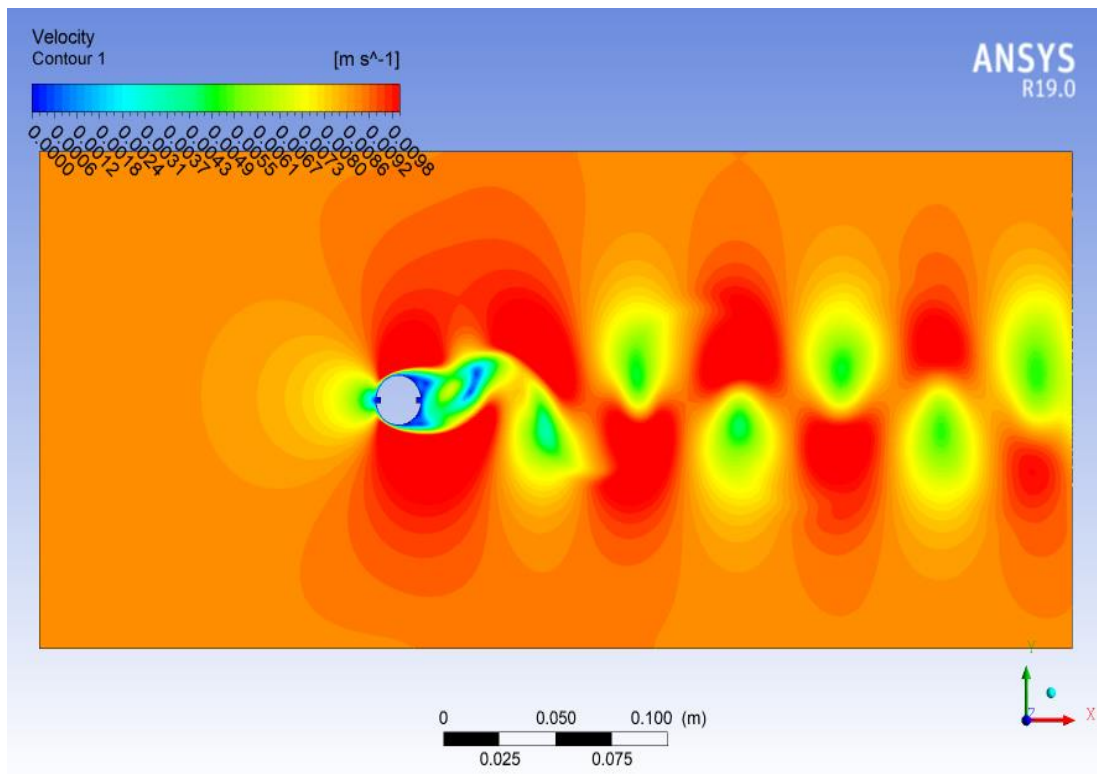


Figure III.26 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.025$

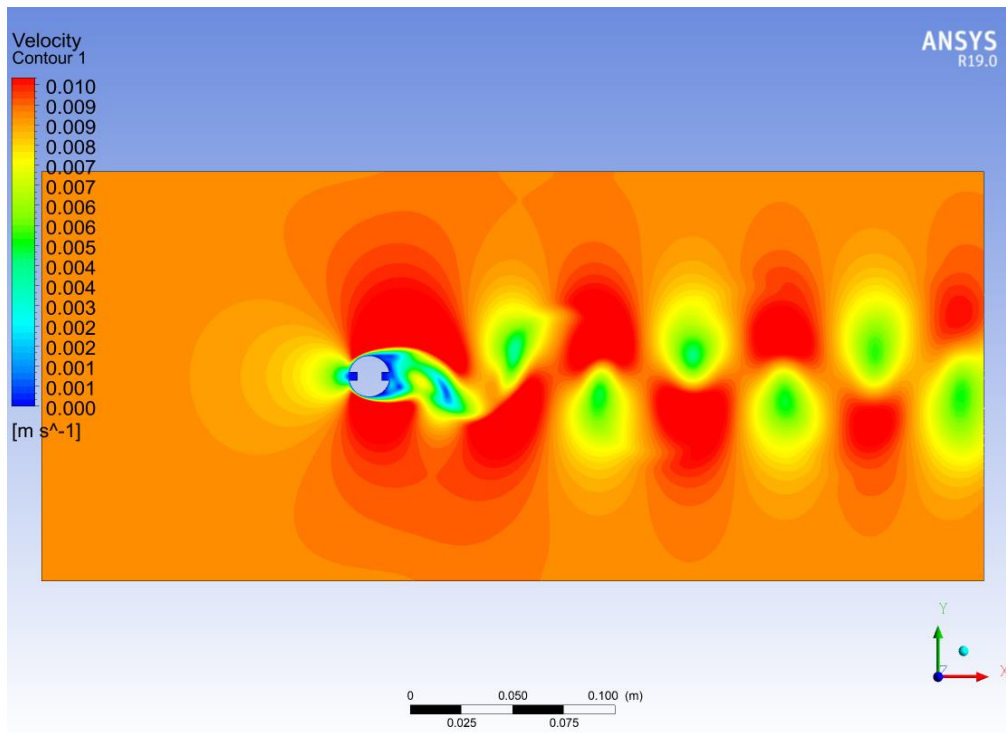


Figure III.27 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.1$

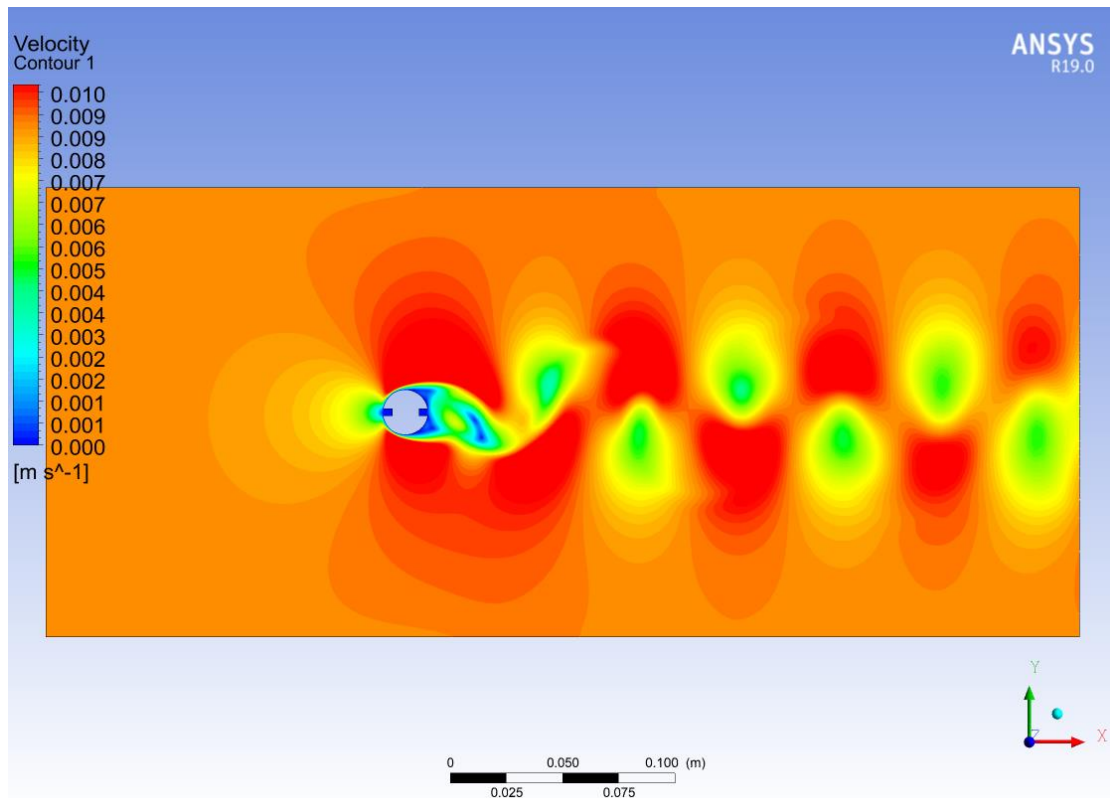


Figure III.28 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.075$

### Chapitre 3 :

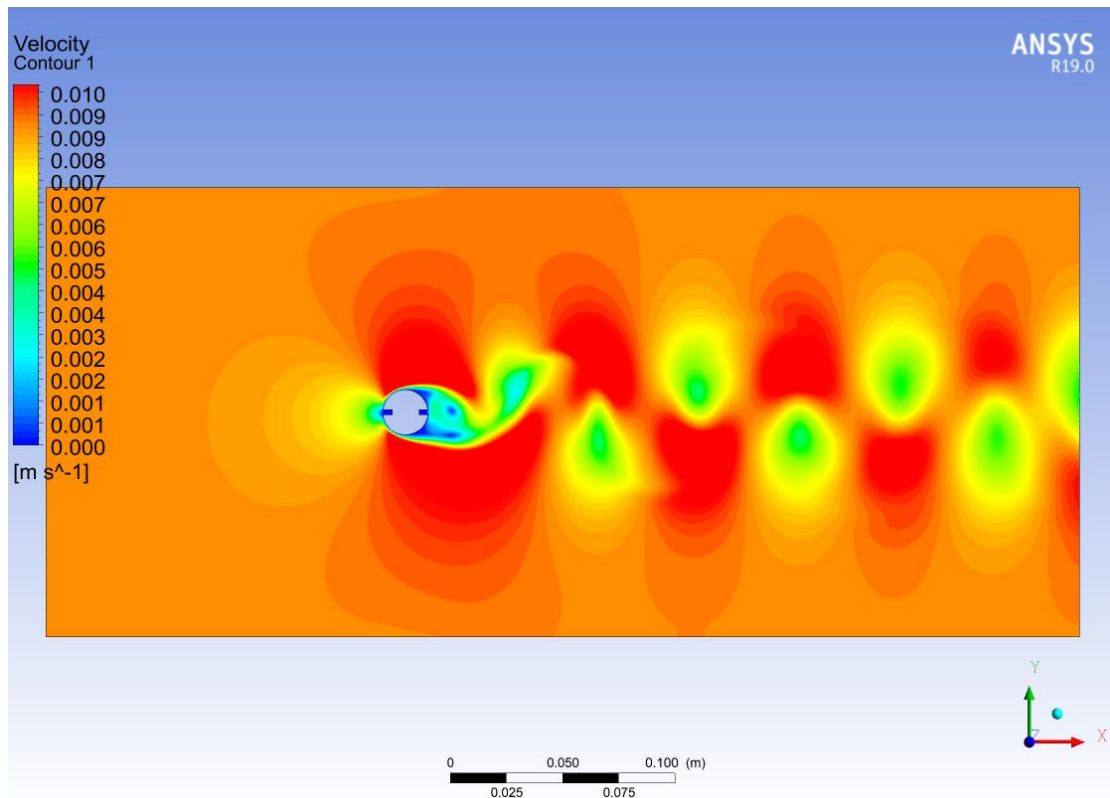


Figure III.29 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.05$

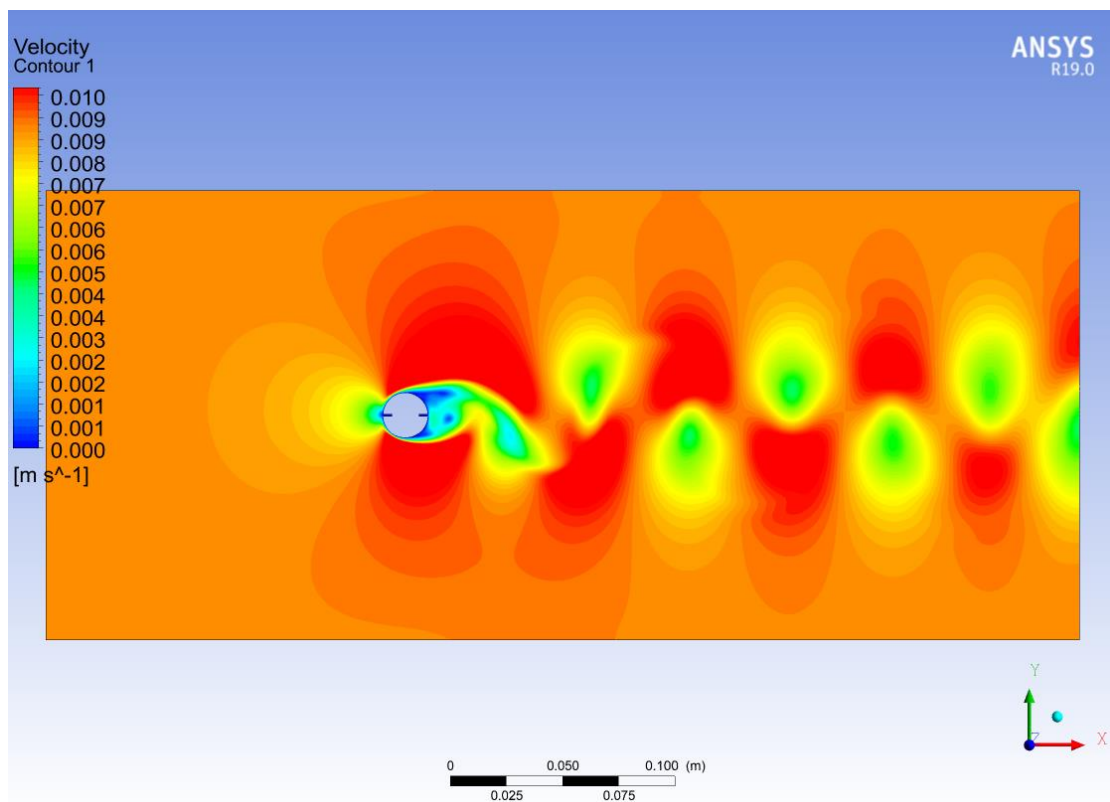


Figure III.30 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.025$



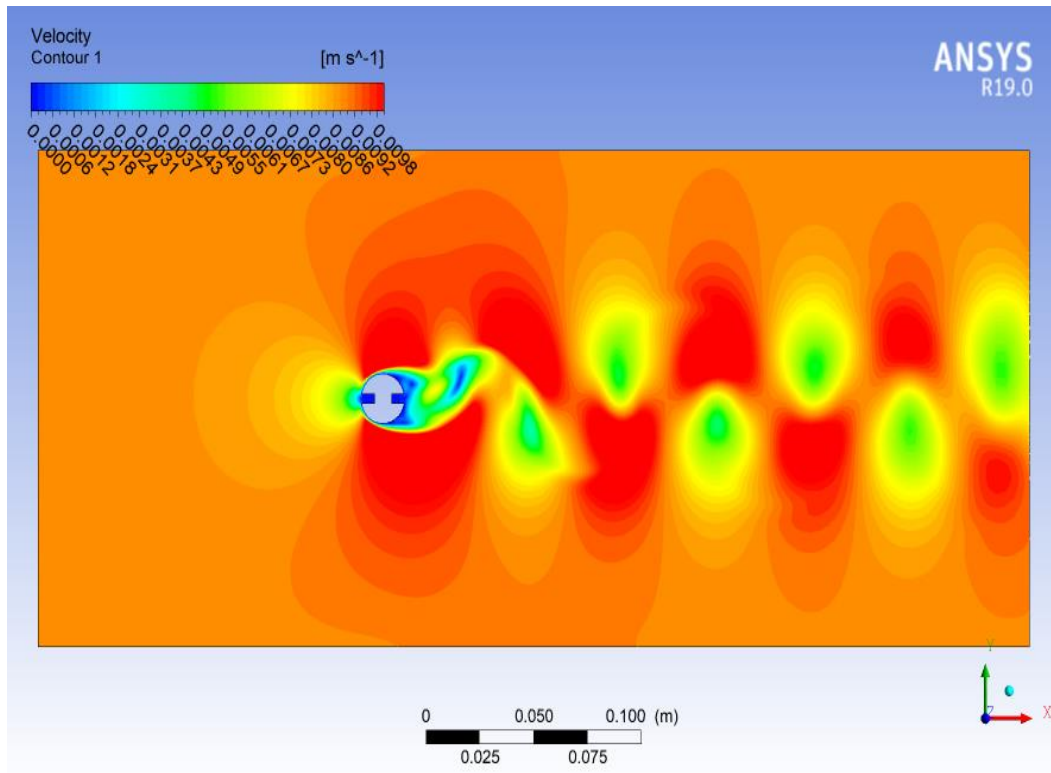


Figure III.31 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.1$

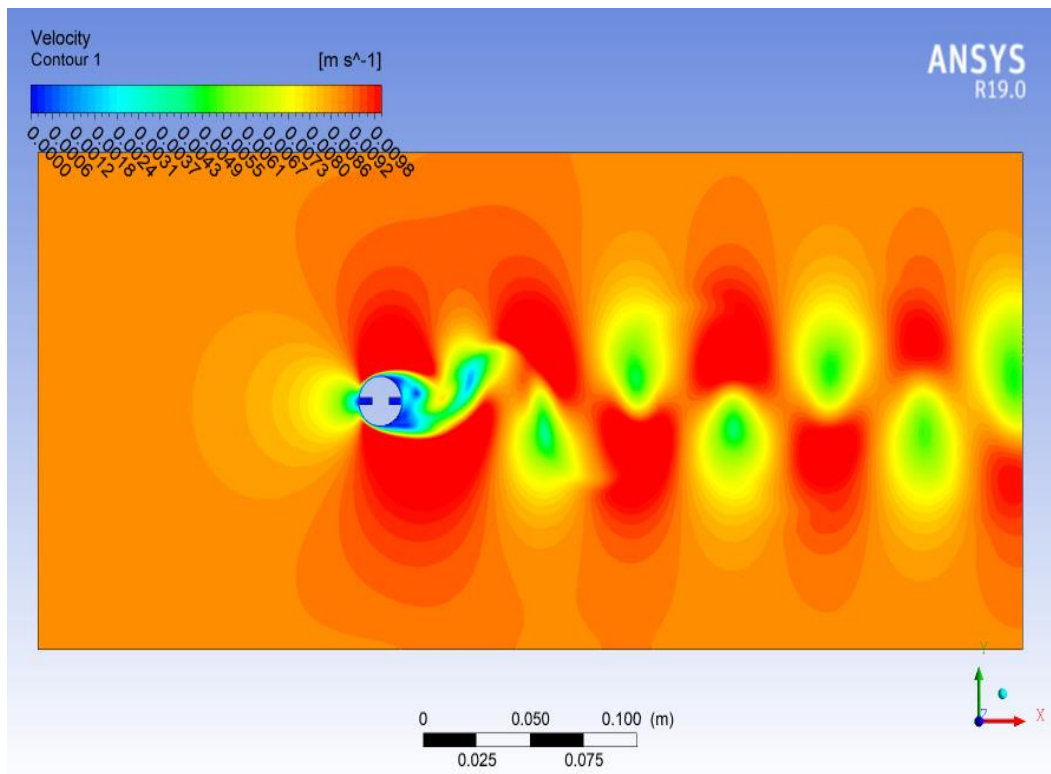


Figure III.32 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.075$



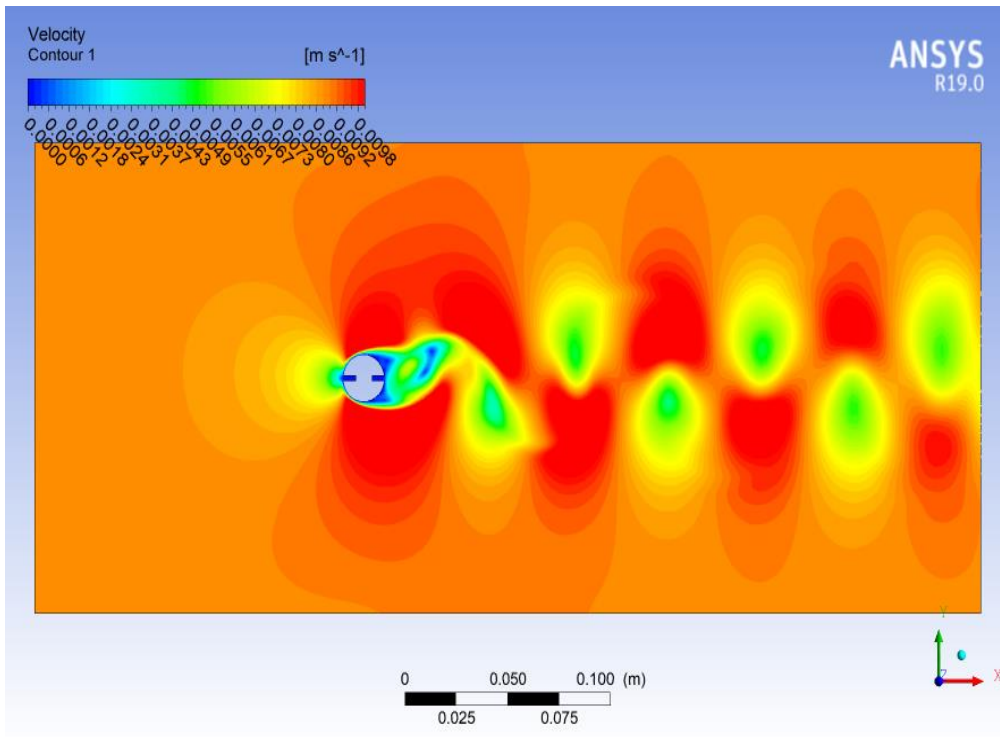


Figure III.33 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.05$

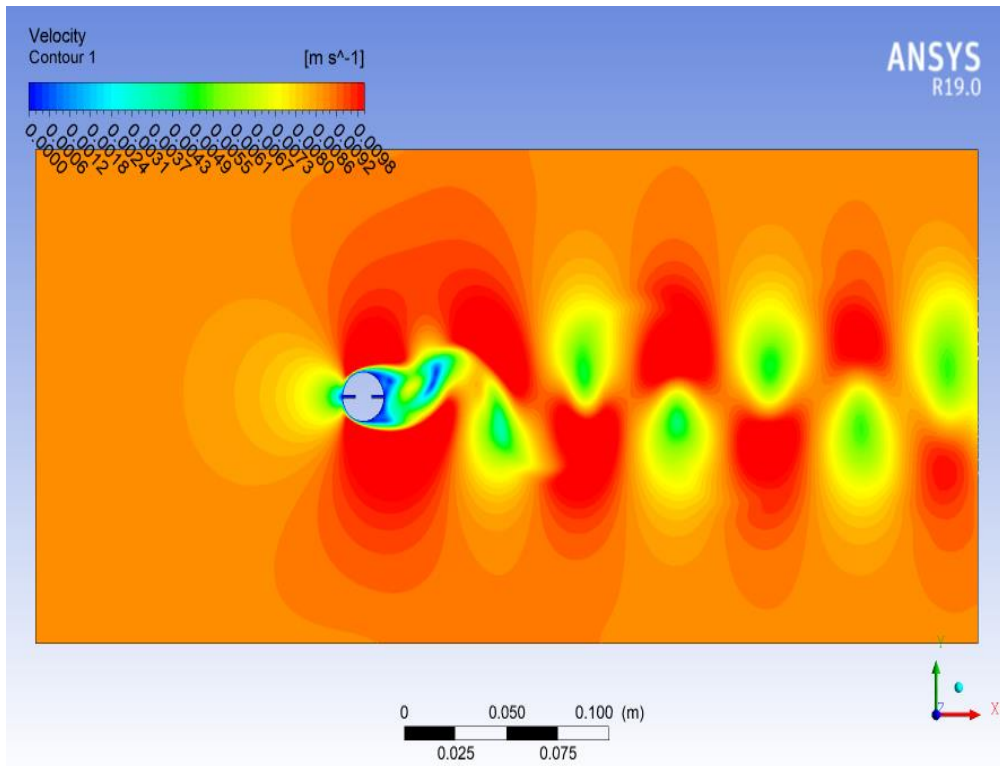


Figure III.34 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.025$

On voit un ralentissement de l'écoulement autour de l'obstacle jusqu'à atteindre une valeur nulle et on observe lorsque l'écoulement glisse à l'obstacle provoque une forte accélération de l'écoulement .

### Contours du vorticity de coulement autour d'un obstacle :

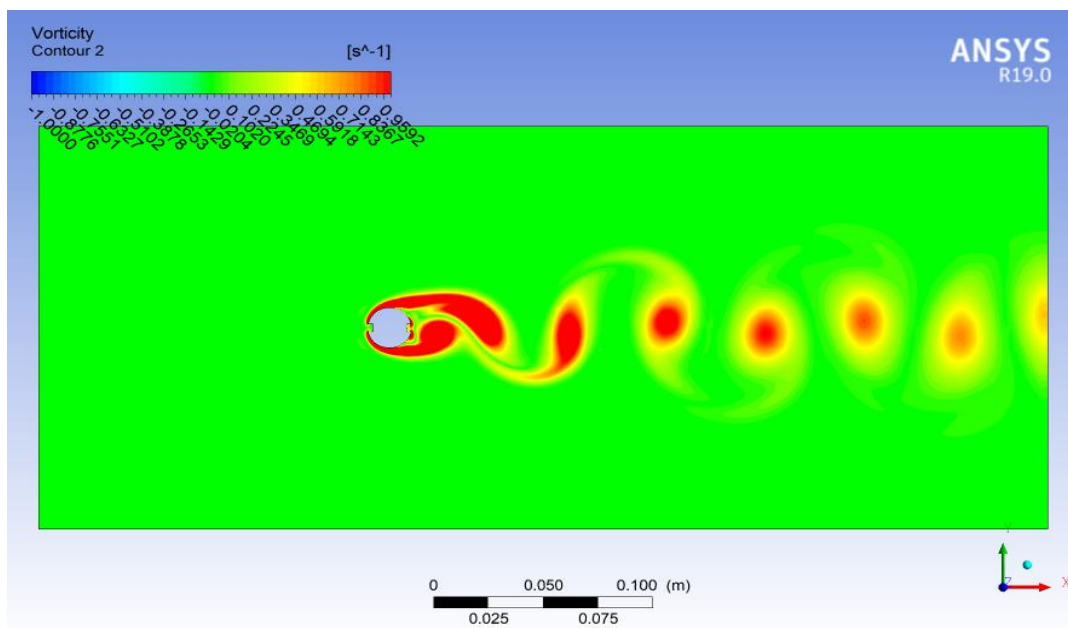


Figure III.35 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.1$

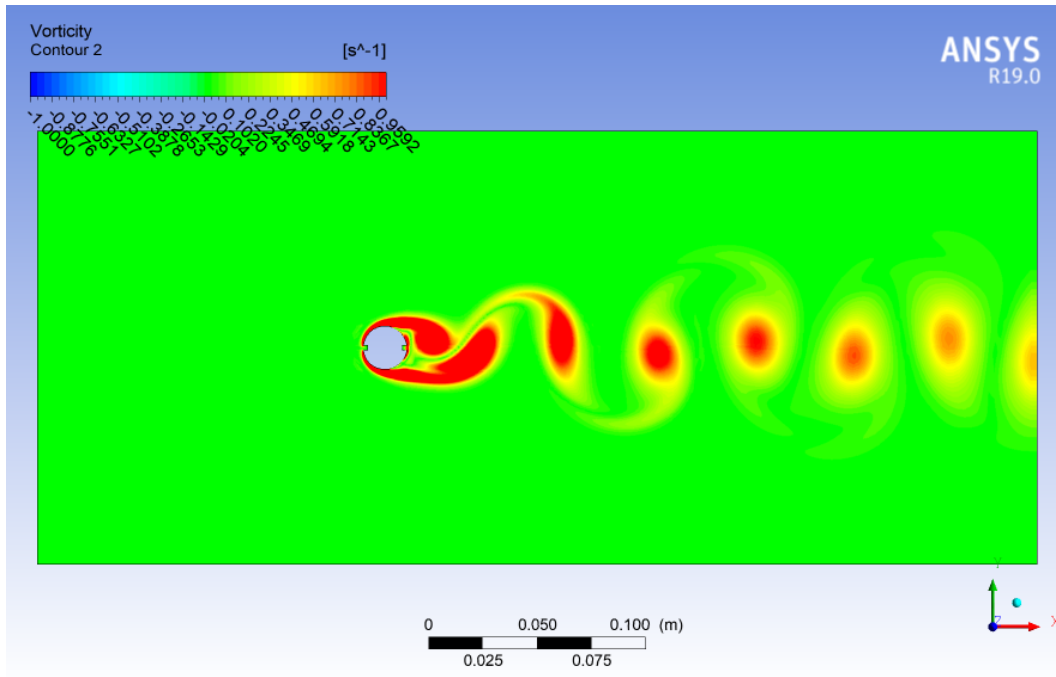


Figure III.36 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.075$

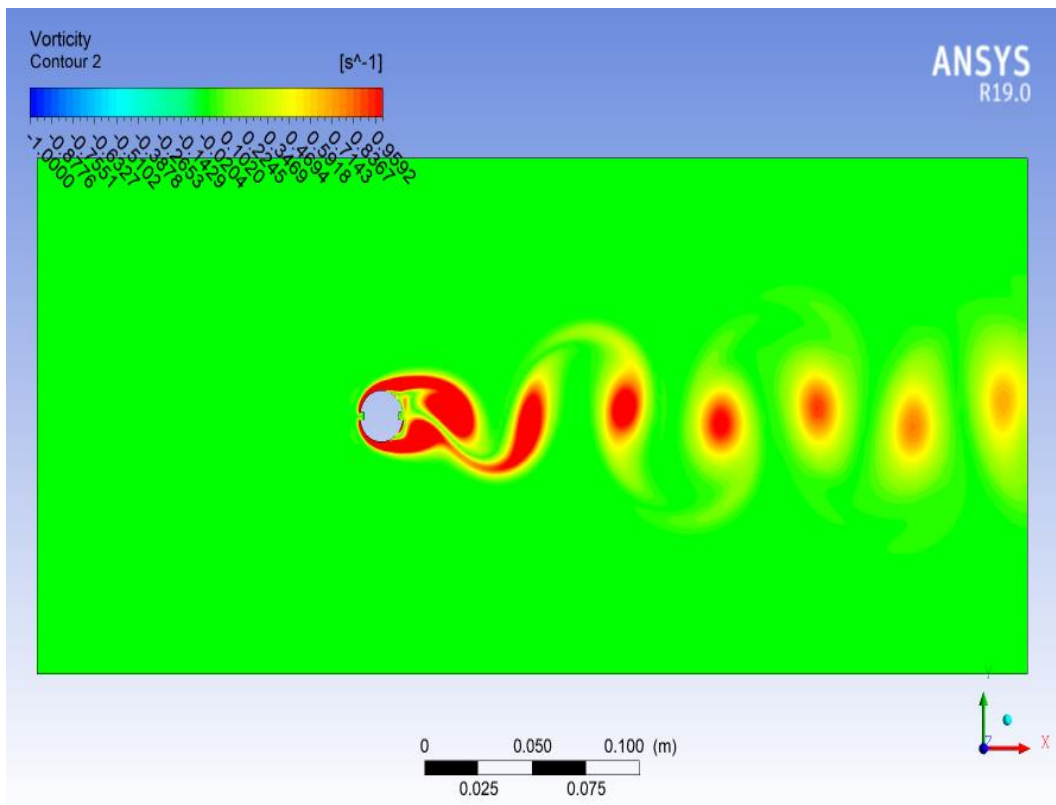


Figure III.37:contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.05$

# Chapitre 3 :

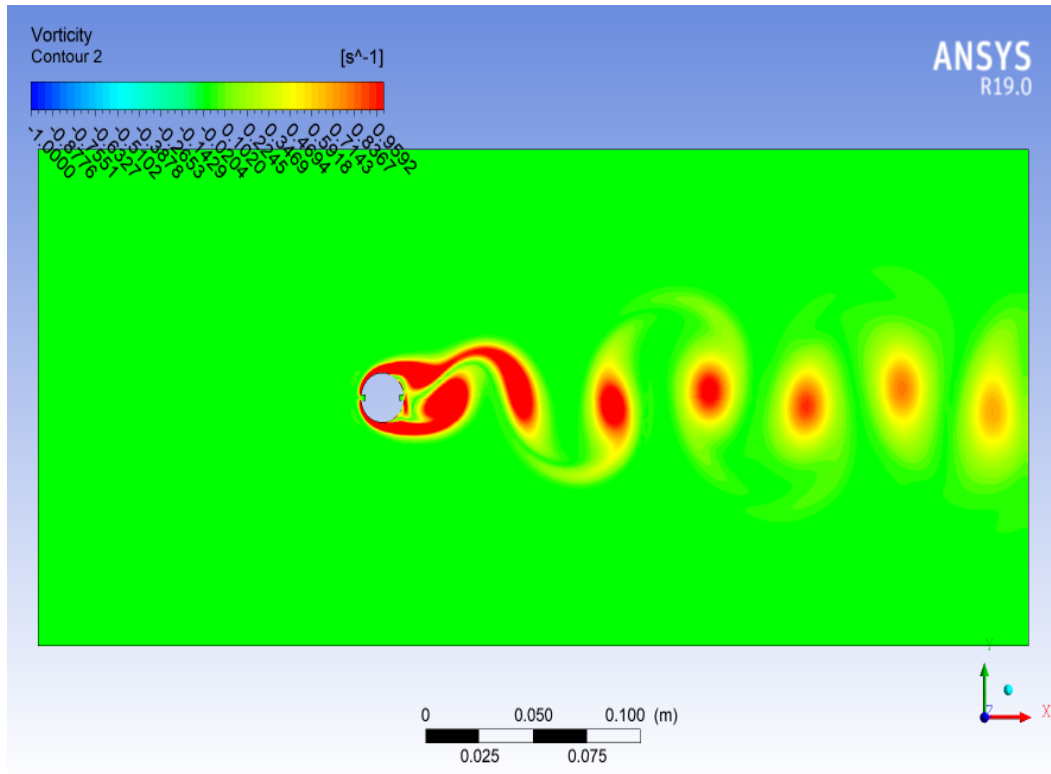


Figure III.38 :contour de vitesse à  $P=0.1/d=0.025$

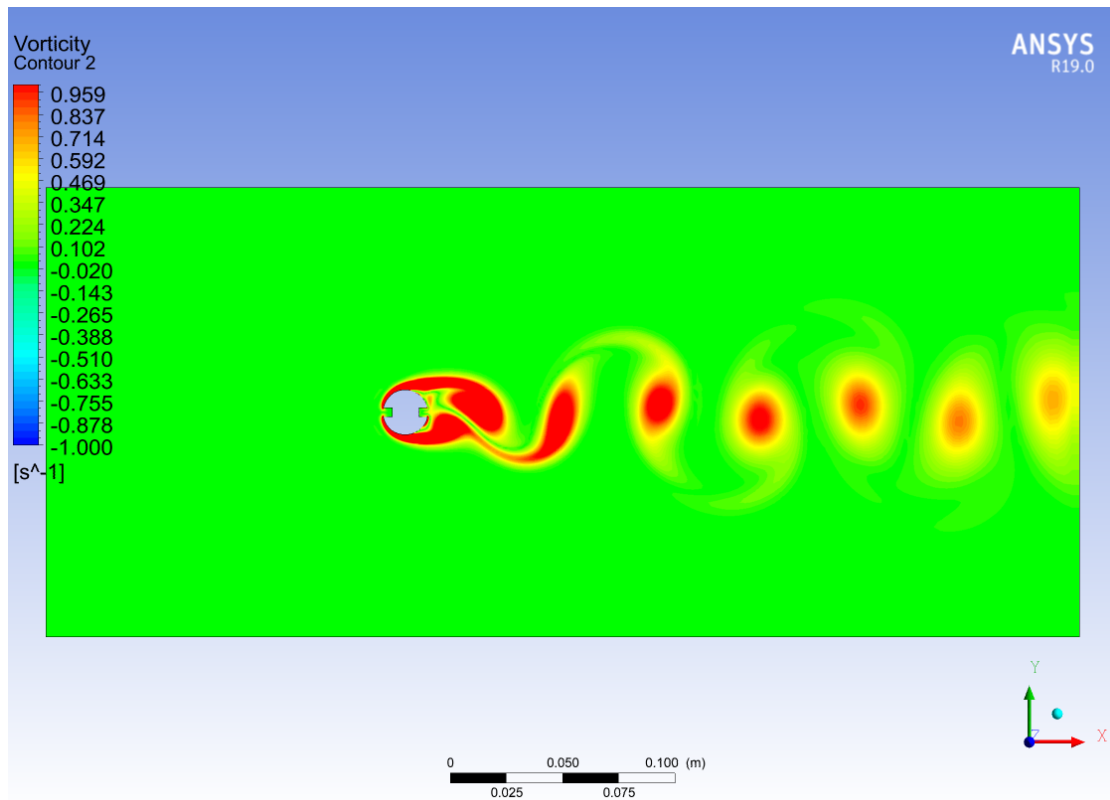


Figure III.39 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.1$

### Chapitre 3 :

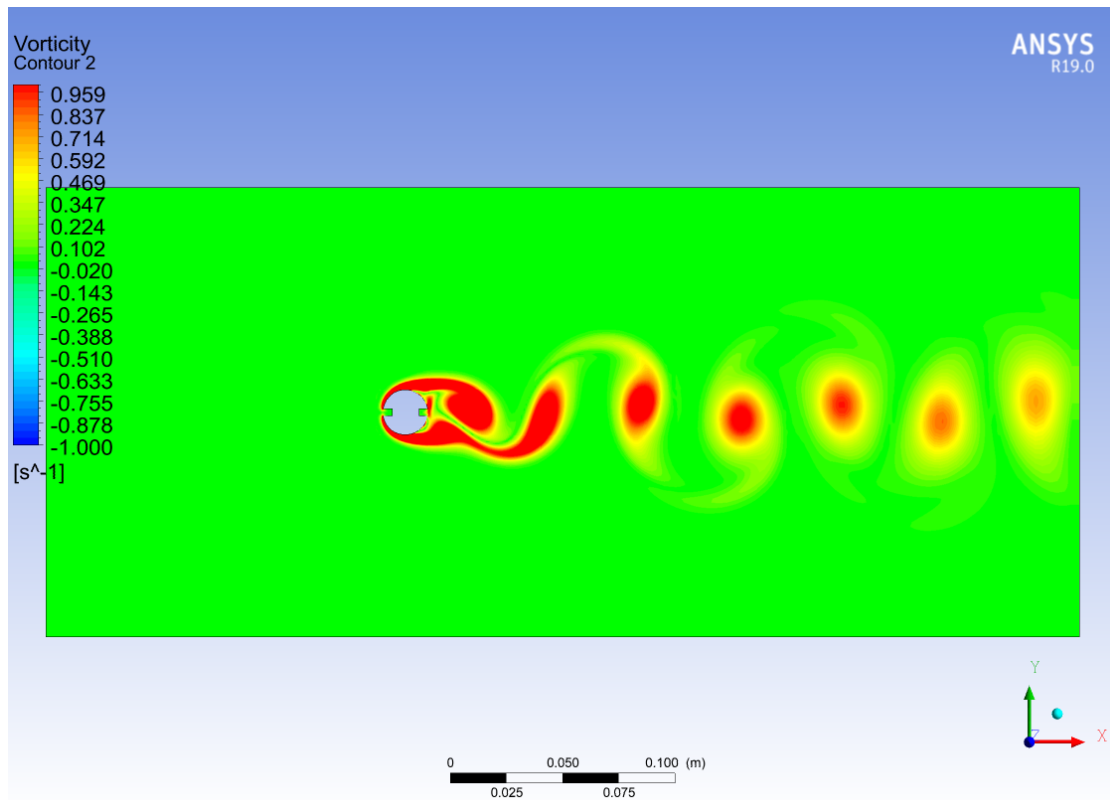


Figure III.40 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.075$

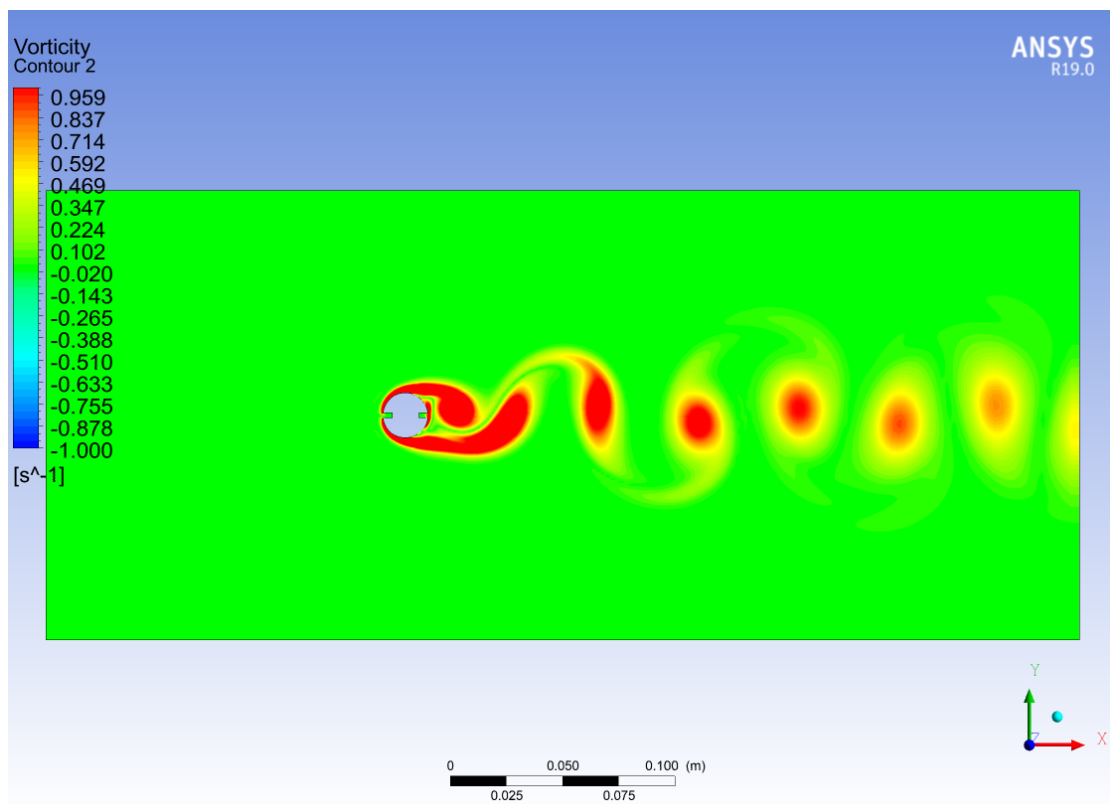


Figure III.41 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.05$

### Chapitre 3 :

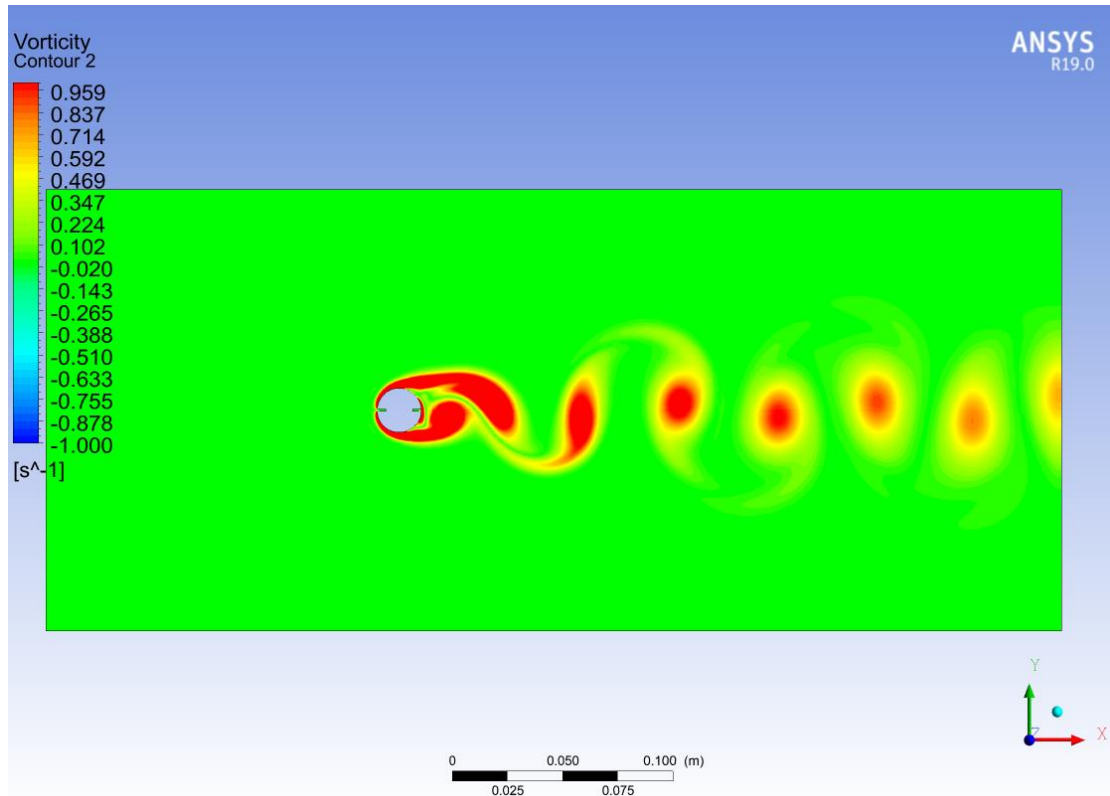


Figure III.42 :contour de vitesse à  $P=0.2/d=0.025$

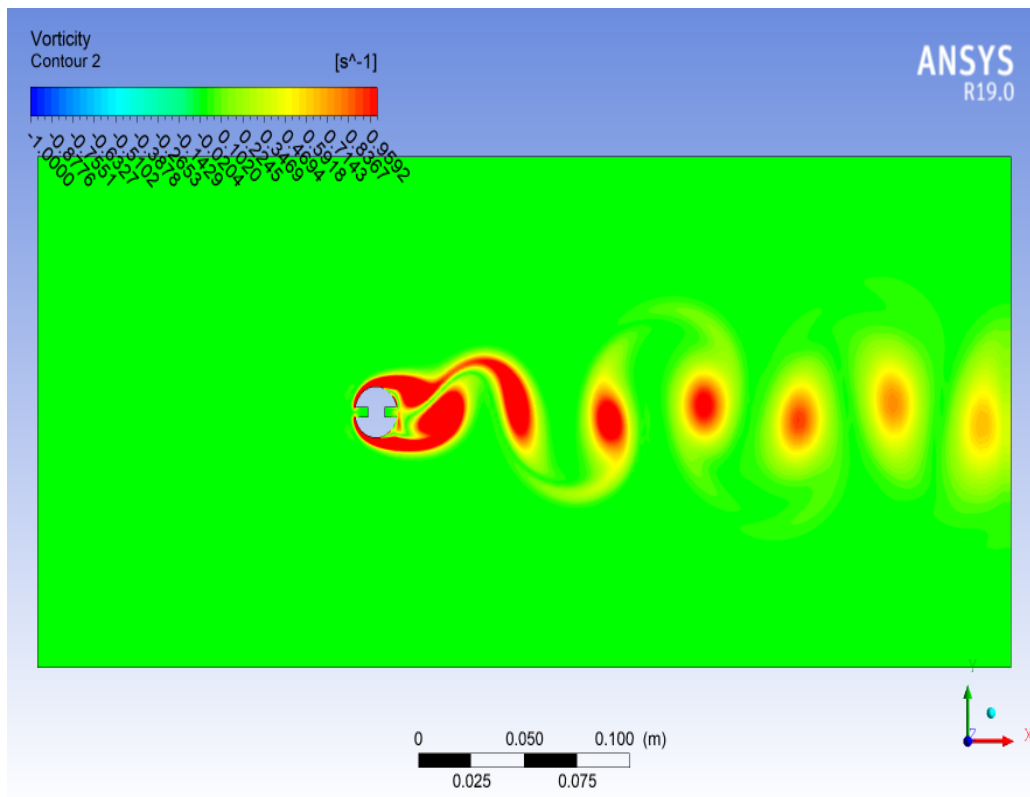


Figure III.43 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.1$

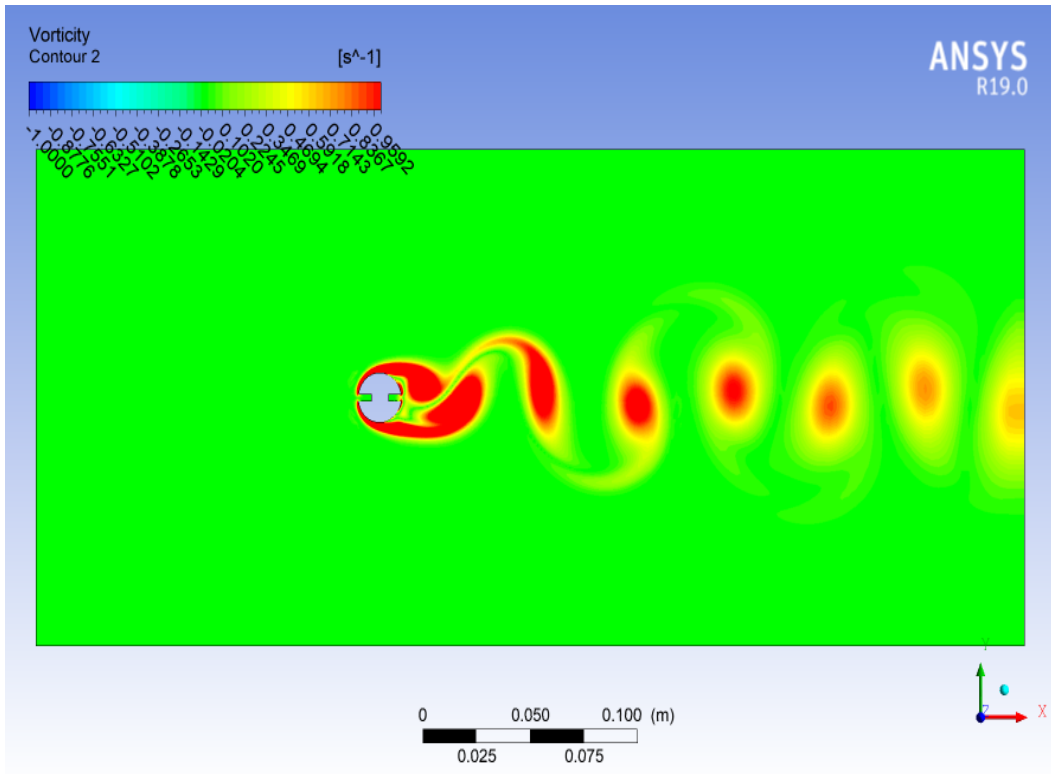


Figure III.44 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.075$

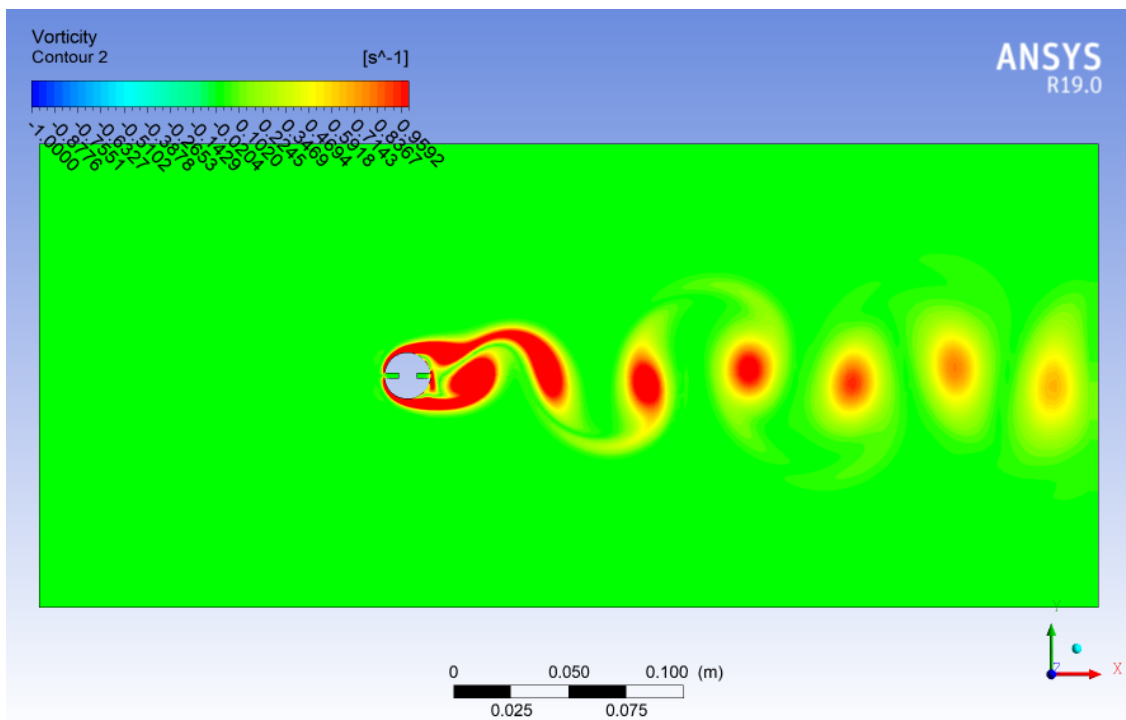
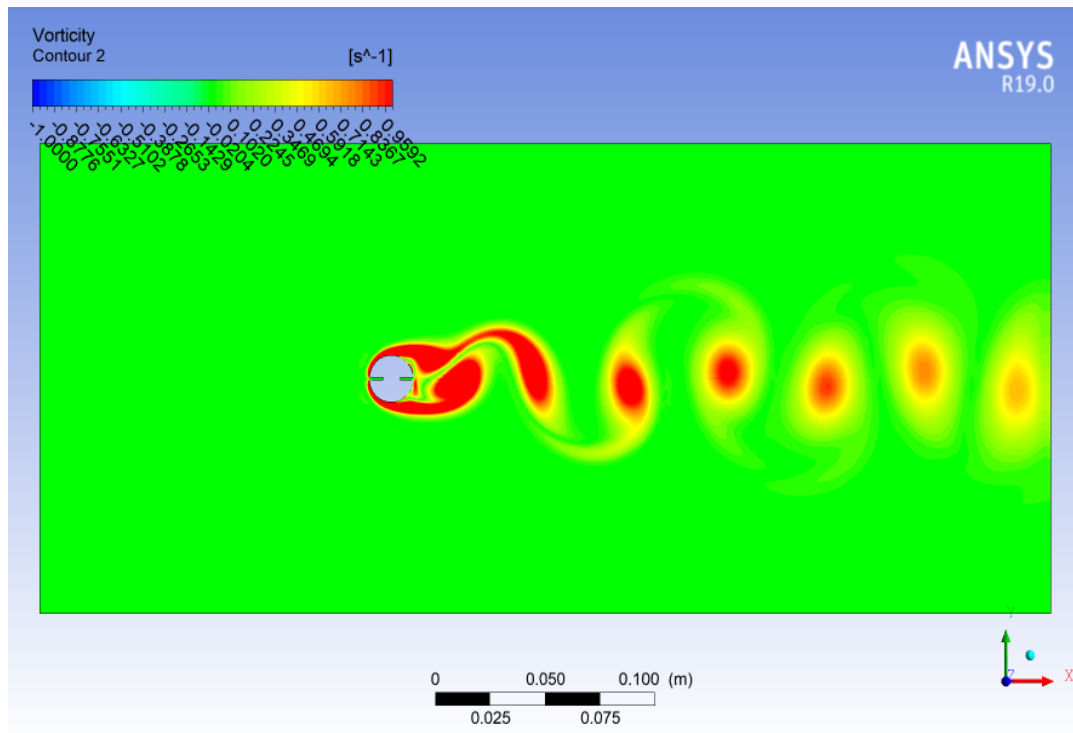


Figure III.45 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.05$



**Figure III.46 :contour de vitesse à  $P=0.3/d=0.025$**

L'écoulement à l'aval d'un obstacle cylindrique est caractérisé par la formation d'un sillage constitué de deux tourbillons contrarotatifs , On observe une légère différence sur le sillage .

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné une présentation générale du logiciel utilisé dans notre étude et discuté les résultats qui on a trouvé .



# Conclusion générale

---

La mécanique des fluides est la base du dimensionnement des conduites de fluides et des mécanismes de transfert de fluides, Elle comprend deux grandes sous branches : la statique et la dynamique des fluides.

Dans notre modeste travail, on a fait une étude sur le comportement d'un écoulement instationnaire bidimensionnel et laminaire autour d'un obstacle cylindrique avec rainure L'effet des rapports géométriques représentant la longueur du rainure ( $L/D$ ) et la largeur ( $G/D$ ) sur le comportement hydrodynamique (avec une simulation numérique fournit par le logiciel ANSYS-CFX19).

On a utilisé le code de calcul CFX pour un maillage structuré de forme hexaédrique réalisé avec désigne modeler qui a permis d'obtenir de bons résultats.

Nous sommes intéressés au domaine du mouvement de la vitesse d'écoulement autour de l'obstacle et l'influence des forces de portance et traînée.

Tout d'abord, le coefficient de traînée moyen du cylindre simple est plus faible que celui du cylindre avec rainure. et ce coefficient augmente lorsque ( $L/D$ ) et ( $G/D$ ) augmente. Deuxièmement, il a été observé que l'influence de la portance moyen varie périodique et nous a permis de tirer de très riches observations de la vitesse et la vorticité au court de changement de la rainure.

L'augmentation du démentions du rainure entraine une déstabilisation de l'écoulement.

## Références Bibliographiques

---

- [1] **G.Durand, J.E.Wesfried, P.Jenffer.** Contrôle d'actif du sillage autour d'un cylindre *oscillant*. Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de Paris (ESPCI),PMMH.10RueVauquelin,7523ParisCedex05,France.2001.
- [2] **Y.H. Madani, M.Abidat.** Etude numérique de l'écoulement d'un fluide visqueux incompressible autour de corps profilés par une méthode combinée d'ordre 0(h2) et 0(h4).Séminaire international de Génie Mécanique. Sigma'02.E.N.S.E.T.Oran. 28 & 29AVRIL2002.
- [3] **N. Roquet, P. Saramito.** An adaptive finite element method for Bingham fluid flows around a cylinder. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. VOL192 PP3317–3341.2003.
- [4] **A.K.Saha, G.Biswas, K.Muralidhar,** Three-dimensional study of flow past a square cylinder at low Reynolds numbers, Internationl Journal of heat and fluid flow 24 (2003), p.54- 66.
- [5] **Giancarlo Alfonsia, Carlo Restanob , Leonardo Primaverac,** Cohérent structures of the flow around a surface-mounted cubic obstacle in turbulent channel flow, Département de défense des sols, Université de Calabre, Italie, Journal d'ingénierie éolienne et Aérodynamique industrielle 91 (2003) 495–511
- [6] **Q.Rong, L. G.Ya, L. Wei, W. Jian, Z. Xin.** Study of vortex characteristics of the flowarounda horizontal circular cylinder at various gap-ratios in the cross-flow. JournalofHydrodynamicsSer.B,VOL18PP334-340.2006
- [7] **T.Nishino, G.T.Roberts, X.Zhang.** Detached-eddy simulation of flow around a circularcylinderin ground effect. The seventeenth international symposium on transportphenomena,Toyama,JAPAN.2006.

## Références Bibliographiques

---

[8] **P.F. Zhang, J.J. Wang, L.X. Huang.** Numerical simulation of flow around cylinder with an upstream rod in tandem at low Reynolds numbers. *Applied Ocean Research* Vol 28 PP 183–192. 2006.

[9] **R. Belakroum, M. Khadja, H. Zibouche.** Simulation numérique du phénomène d'éclatement tourbillonnaire dans la zone de sillage d'un obstacle de section circulaire. *International Conférence on Energetics and pollution constantine* .2007.

[10] **F. Meddane, T. Yahiaoui, L. Adjlout.** Influence du volet sur les performances du profil NACA 0021. *International Conférence on Energetics and pollution constantine* .2007.

[11] **D.J. Park, A.R. Green, Y.s. Lee, Y.C. Chen.** Experimental studies on interactions between a freely propagating flame and single obstacles in a rectangular confinement. *Combustion and flame*, volume 150, Issues 1-2, pages 27-39, July 2007.

[12] **S. Pascal-Ribot, Y. Blanchet.** Buffeting lift forces and local air–water flow aspects around a rigid cylinder. *International Journal of Multiphase Flow*. VOL 33 PP 1237–1254. 2007.

[13] **C. Shu, N. Liu, Y.T. Chew.** A novel immersed boundary velocity correction–lattice Boltzmann method and its application to simulate flow past a circular cylinder. *Journal of Computational Physics*. Vol 226 PP 1607–1622. 2008.

[14] **I. Khabbouchi, M.S. Guellouz.** Ecoulement autour d'un cylindre circulaire proche d'une paroi : Effet de l'écoulement type jet. *Laboratoire d'Etude des Systèmes Thermiques et Energétiques Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir Rue Ibn El Jazzar 5019 Monastir, Tunisie.* (2008).

[15] **S. Cao, Y. Tamura.** Flow around a circular cylinder in linear shear flows at subcritical Reynolds number. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol 96 PP 1961–1973. 2008.

## Références Bibliographiques

---

[16] **M.S. Dhouaib, F. Aloui, S. Turki et S. Ben Nasrallah**, Etude expérimentale et numérique des écoulements instationnaires derrière un barreau carré placé dans un milieu confiné, 1ère Conférence Internationale sur La Conversion et La maîtrise de L'Energie, CICME'08, 11-13, Avril 2008, Sousse –Tunisie.

[17] **E.Faghani, H.A.Ardakani, N.S.Vaghefi, S.A.Niaki, and B.Farhanich**. Numerical investigation of flow and heat transfer characteristics from an impinging jet on circular cylinder. School of Mechanical Engineering Sharif University of Technology, Tehran, Iran. School of Mechanical Engineering King College London, London, England. 2009.

[18] **K. Lam, L. Zou**. Experimental study and large eddy simulation for the turbulent flow around four cylinders in an in-line square configuration. International Journal of Heat and Fluid Flow. Vol 30 PP 276–285, 2009.

[19] **L. Bruno , D. Fransos, N. Coste, A. Bosco**. 3D flow around a rectangular cylinder: A computational study. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2009.

[20] **M.M.Ouestati, M. Ben Salah, F. Aloui, S. Ben Nasrallah**. Numerical simulation of flow around obstacle with stream function-vorticity formulation of Navier-Stokes equations. 2<sup>nd</sup> International Conference on Energy Conversion and Conservation. 2010.

[21] **S Mossaz, P Jay, A Magnin** - CFM 2011-20ème Congrès ..., 2011 - hal.archives-ouvertes.fr

[22] **ZB Ouattara, A Magnin, P Jay** - CFM 2015-22ème Congrès ..., 2015 - hal.archives-ouvertes.fr

[23] **H Ozogul** - 2016 - tel.archives-ouvertes.fr

# Références Bibliographiques

---

[24] **S Mouloud, FN Bouda, F Mendil** CFM 2017 - 23ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2017, Lille, France. fahal-03465291

[25] **J. Hu a , H.B. Xuan a et al** , Study of wind flow over a 6 m cube using improved delayed detached Eddy simulation, School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, China Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Volume 179, August 2018, Pages 463-474

[26] **N Hamdi, F Nait Bouda, O Charifi** - 2019 - univ-bejaia.dz

[27] **AA Hani** - 2019 - dspace.univ-km.dz

[28] **Mingwei Ge, Dennice F. Gayme , Charles Meneveau**2020, Large-eddy simulation of wind turbines immersed in the wake of a cube-shaped building, Department of Mechanical Engineering, The Johns Hopkins University, Baltimore, USA, 21218

[29] **CMJCR Ricardo**, AS Frantz - 2021 –

[30] **Lamia. Benahmed, Khaled. Aliane, Ali.J.** Chamkha, Three-dimensional simulation of a turbulent flow around a tapered cube dug in the middle, Journal of Thermal Engineering, Technical Note, 2021, Vol. 0, No. 0, pp. 00-00,

31] **Mourad BOUTERRA et al**, Étude de l'effet d'une perturbation périodique sur la structure d'un écoulement turbulent stratifié autour d'un obstacle, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1092 El Manar, Tunis, Tunisie, Volume 12, Numéro 3, Pages 375-383

[32] **Youcefi sidi mohamed et Khaled Aliane**, Effets de la rugosité variable sur un écoulement de fluide autour d'obstacles, Thèse de Doctorat en Génie Mécanique, Option énergétique, université Abou Bekr Belaid-TLEMCEN, 06/02/2022.

[33] **S. Krajnović et L. Davidson**, Flow around a three-dimensional bluff body, 9th international symposium on flow visualization, 2000.

# Références Bibliographiques

---

[34] **Korib kamel**, Étude des écoulements autour des obstacles, étude de simulation, Thèse de Magistère en Génie Mécanique, Option machine thermique, université Abou Bekr BelaidTLEMCEN, 2012.

[35]**LSS Malika** - 2022 - dspace.univ-msila.dz

[36] **RIADH Ben Hamouda**, « Notions de mécanique des fluides», Centre de publication universitaire, Tunis, 2008.

[37] **Cours sur les notions de Mécanique Des Fluides.pdf**  
<http://learn.univsba.dz/pluginfile.php/1984/course/overviewfiles/cours>

[38]- **ION Paraschivoiu**, « Aérodynamique subsonique »,Editions de l'école polytechnique de Montréal (Québec), Canada, 1998.

[39]- **Cours le nombre de Reynolds science étonnante Word Press**,  
<https://www.google.com/url.source.images>.

[40] Histoire de la mécanique des fluides. In WIKIPEDIA. L'encyclopédie libre [en ligne]. 18 septembre 2018 à 11 : 50. Disponible sur : < [https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire\\_de\\_la\\_m%C3%A9canique\\_des\\_fluides](https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_m%C3%A9canique_des_fluides)

[41] **Al-Jazari**. In WIKIPEDIA. L'encyclopédie libre [en ligne]. 10 août 2019 à 10 : 03. Disponible sur : < <https://fr.wikipedia.org/wiki/Al-Jazari> >.

[42] **M. Van Dyke**, An Album of Fluid Motion, Parabolic Press (1982). [31]- **B.Renaud**, « Instabilité de Bénard-Von Karman derrière un obstacle oscillant », Rapport de stage expérimental, Laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes, Paris, 2000.

[43]**M. Van Dyke** : An Album of Fluid Motion. Parabolic Press, 1982.

[44]-**B.Renaud**, « Instabilité de Bénard-Von Karman derrière un obstacle oscillant », Rapport de stage expérimental, Laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes, Paris, 2000.

## Références Bibliographiques

---

[45]-Bensedira, A. Abdellah el-hadj, D. Semmar, N. Ait-Messaoudene, “Dynamic Analysis of Flow Around Two Side-by-Side Cylinders Near a Wall,” J. Sci Eng., vol. 43, no. 9, pp. 4531–4540, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2932-1>