REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique en Génie Mécanique

***Option :** Énergétique*

Thème

Simulation Numérique d'un Ecoulement Autour d'un Obstacle

Proposé et dirigé par :

Mr.: M.AMOKRANE

Réalisé par :

AIT AMEUR RAMDANE

AIT-FERHAT BOUSSAD

ISSADOUDENE SID ALI

Promotion : 2018/2019

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 lieunotre encadreur

*Mr :**M. AMOKRANE***

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 contribués à notre formation à l'université

Mouloud MAMMERI DE TIZI OUZOU.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mon oncle SAID.

A mon père Khelifa et ma mère Zahia, qui attendons ma réussite avec impatience et qui mon conduit dans le bon chemin et la bon éducation.

A mes frères et sœurs, merci à vous tous pour votre présence ainsi que votre compréhension et votre soutien au court de toutes mes année d'étude.

A mes chères et fidèles amis : Belaid, Bilal, Adel, Fouad,Yacine,Rabeh,Youcef,Badjiou,Arezki, Ouardia.

A toute la promotion Génie Mécanique énergétique.

Boussad Ait-Ferhat

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours.

A mes chers frères et sœurs et leurs enfants.

A mes cousins et cousines et leurs enfants.

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

A toute ma famille.

SID ALI

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, Que Dieu vous préserve, santé et longue vie.

A mon cher frère et ça famille

A mes chères sœurs

A ma chère copine

A mes chers et fidèles amis

Ramdane

Sommaire

Chapitre I : Notions Générales sur la Mécanique des Fluides

Chapitre II : Modélisation Mathématique

Chapitre III : Simulation Numérique

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Liste des Figures

Nomenclature

A	L'aire de la surface[m^2]
D	Diamètre du cylindre [m]
L	Longueur de domaine [m]
l	Largueur de domaine [m]
t	Temps [s]
$\vec{F}$	Vecteur de force
P	Pression local du fluide [Pa]
Re	Nombre de Reynolds
$\vec{V}$	Vecteur vitesse de l'écoulement
U_X	Vitesse selon l'axe des x [m/s]
V_Y	Vitesse selon l'axe des y [m/s]
Ω	Volume de contrôle [m^2]
x,y	Les coordonnées cartésiennes
S_ϕ	Terme source

Symboles grecques

ϕ	Potentiel total vitesse [m^2/s]
Γ_ϕ	Coefficient de diffusion [kg/ms]
μ	Viscosité dynamique[kg/m.s]

υ	Viscosité cinématique [m^2/s]
ρ	Masse volumique du fluide [kg/m^3]
τ	Contrainte de cisaillement, exprime en [N/m^2]
Ω	Volume de contrôle

Abréviations

CFD ComputationalFluid Dynamics.

MVF Méthodes des volumes finis.

EDP Equation de dérivé partielle.

Introduction générale

Introduction Générale

La mécanique des fluides est une science qui s'intéresse à l'étude du comportement des fluides à l'état statique et dynamique. C'est une science qui trouve des applications dans plusieurs domaines tels que l'aérodynamique, l'hydraulique, les turbomachines et les équipements thermiques…etc.

L'étude des écoulements autour des objets est un problème classique de mécanique des fluidesqui peut être très utiledans la pratique comme dans la conception mécanique et thermique de nombreux systèmes en engineering, à savoir l'aéronautique,l'automobile, le bâtiment…etc.

En parallèle, l'étude des phénomènes hydro/aérodynamiquesqui surgissent dans le sillage d'un obstacle restent un sujet d'actualité dans divers domaines, car la connaissance des structures turbulentes générées derrière ces obstacles et leurs différents régimes est d'une utilité primordiale dans la conception des ouvrages exposés aux écoulements des fluides. 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. Pour cette dernière une large gamme de méthodes mathématiques ont été développées afin de s'approcher de la réalité de l'écoulement et de fournir le maximum d'information qui peuvent se produire. Pour notre cas, on a utilisé le code Fluent, qui est un outil de simulation numérique afin de simuler un écoulement autour d'un obstacle circulaire.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à étudier avec une simulation numérique le comportement d'un écoulement perturbé par la présence d'un obstacle.

Le présent manuscrit s'organise en quatre chapitres présentés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous allons exposer les définitions de base de la mécanique des fluides, des écoulements autours des obstacles et certains travaux de recherches. Le deuxième chapitre sera réservé aux formulations mathématiques, où on expose les équations mathématiques régissant l'écoulement bidimensionnel d'un fluide incompressible autour d'un obstacle. Par la suite, nous allons donner un aperçu sur la méthode numérique utilisée pour la résolution de ces équations. Le troisième chapitre sera consacré aux étapes de la simulation d'un écoulement autour d'un obstacle circulaire sur les codes commerciaux GAMBIT version 2.4,pour l'esquisse de la géométrie d'intérêt et son maillage et FLUENT

6.3pourlarésolution numériquedes EDP associées aux conditions aux limites appliquées dans notre cas. Le quatrième chapitre sera consacréàla présentationdes résultats des simulations numériques obtenues par le code de calcul utilisé. Dans cette partie nous allons étudier l'effet de la vitesse de circulation, du diamètre d'obstacle et du fluide de circulationsurun écoulement bidimensionnel d'un fluide Newtonien et incompressible autour d'un obstacle immergé.Enfin, nous allons terminer ce manuscrit par une conclusion généralequi englobe les principaux résultats obtenus durant notre étude.

Chapitre I : Notions Générales sur la Mécanique des Fluides

Les écoulements autours des obstacles est un phénomène physique qu’on rencontre dans divers domaines technologiques comme l’ingénierie navale, aéronautique,météorologie…etc.En effet, la compréhension de ce problème classique de mécanique des fluides revêt une importance pratique dans les applications aérodynamiques et hydrodynamiques. Dans ce chapitre nous allons exposer les définitions de base de mécanique des fluides, des écoulements autours des obstacles et à la fin, nous allons énumérer certains travaux de recherches qui se sont intéressés à cette thématique.

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 autours des obstacles.

I.1.1 Définition d’un fluide

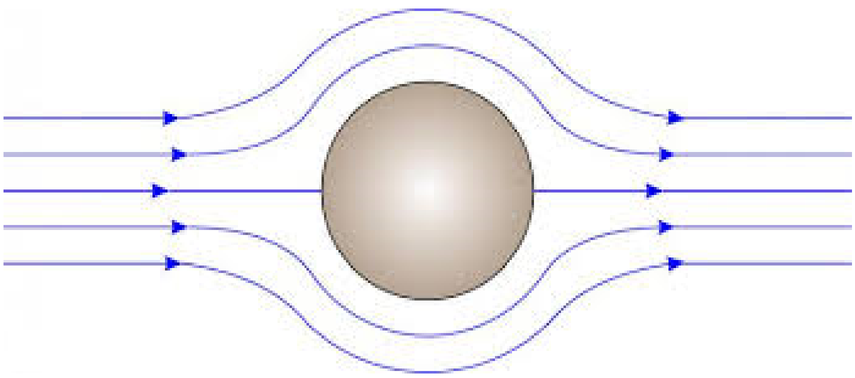
On appelle fluide un corps qui n’a pas de forme propre et qui est facilement déformable comme les liquides et les gaz, on peut citer aussi des corps plus complexes comme les polymères ou les fluides alimentaires [1]. En mécanique des fluides, on distingue deux types de fluides, à savoir :

- 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 ne sont pas perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquelles elles s'exercent (elles possèdent donc des composantes tangentielles qui s'opposent au glissement des couches fluides les unes sur les autres).

I.1.2 Les régimes d’écoulements

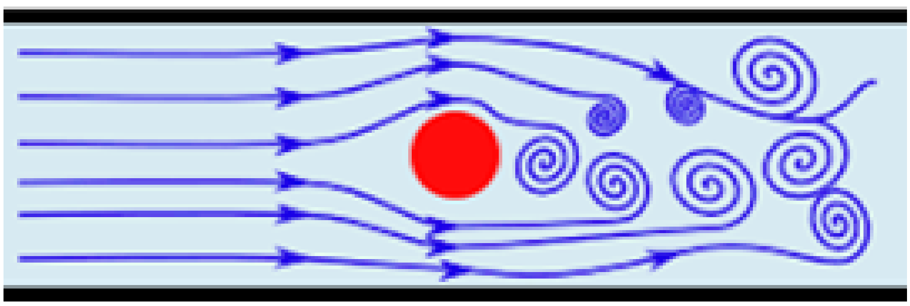
Selon la structure d’un écoulement, on peut distinguer deux types de régimes qui sont :

- Le régime laminaire : l’écoulement est dit laminaire lorsque le mouvement des particules fluides est régulier et ordonné dans la même direction.



FigureI.1 : Schéma d'un écoulement laminaire autour d'un obstacle circulaire.

- Le régime turbulent : l'écoulement est turbulent lorsque le déplacement est irrégulier et que des fluctuations aléatoires de la vitesse se superposent au mouvement moyen du fluide.



FigureI.2 :Schéma d'un écoulement turbulent autour d'un obstacle circulaire[2].

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 :

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho\, U\, D}{\mu} \qquad \mathbf{(I.1)}$$

Dans la précédente équation,

Ureprésente la vitesse de l'écoulement, exprimée en (m/s).

Dreprésente le diamètre caractéristique, exprimée en (m).

$\boldsymbol{\rho}$représente la masse volumique de fluide, expriméeen (kg/m^3).

$\boldsymbol{\mu}$représentela viscosité de fluide, expriméeen (kg/m.s).

I.1.3 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 :

$$\boldsymbol{\rho} = \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{V}} \quad \textbf{(I.2)}$$

$\boldsymbol{\rho}$ représente la masse volumique du fluide, expriméeen (kg/m^3).

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

V représente le volume du fluide, exprimé en (m^3).

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 donné ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.).

I.1.4 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. La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes,la viscosité s'exprime comme suite :

$$\boldsymbol{\tau = \mu \frac{dV}{dy}} \quad \textbf{(I.3)}$$

L'expression de la viscosité cinématique est:

$$\boldsymbol{\upsilon = \frac{\mu}{\rho}} \quad \textbf{(I.4)}$$

τ contrainte de cisaillement, exprime en (N/m^2) [3].

υla viscosité cinématique, exprimée en (m^2/s).

μ viscosité dynamique, exprimée en (N.s/m^2).

- 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 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.3 : Différents viscosimètres pour mesurer la viscositéd’un fluide [4].

I.1.5 Variation temporelle

Selon la variation temporaire des paramètres d’un fluide, on peut deviser les écoulements en deux parties :

- Ecoulement permanent (stationnaire): On dit qu'un écoulement est permanant (ou stationnaire) si toutes les variables décrivant le mouvement sont indépendantes du temps, comme la pression, la masse volumique la vitesse,…etc.
- Ecoulement transitoire (instationnaire) : On dit qu'un écoulement transitoire (ou instationnaire) si les variables décrivant le mouvement sont dépendant du temps.

I.3 Notions sur l’écoulement autours 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 allée tourbillonnaire alternée de Bénard-Von Karman comme la montre la figure I.4.

Figure I.4 :Allée tourbillonnaire alternée de Bénard-Von Karman [5].

L'objectif de ce travail est de simuler cette instabilité en mettant en œuvre une méthode de Boltzmann qui permet d'exprime les conditions aux limites.Von Karman avait compris l'intérêt d'une telle géométrie, qui simplifie suffisamment les équations de Navier-Stokes pour en offrir des solutions exactes.

I.4 Synthèse bibliographique

Beaucoup de travaux de recherches ont été réalisés pour modéliser l'écoulement autour des obstacles. Pour cela, plusieurs expériences dans le domaine ont été réalisées et confrontées aux méthodes numériques. Certains des travaux les plus pertinents dans cette thématique sont exposés ci-dessus :

M.Breuer et al.(2000) [6]ont réalisé des calculs précis sur un écoulement laminaire autour d'un cylindre et carré à l'aide de deux méthodes Lattice-Boltzmann (LBA) et méthode de volumes finis (MVF). Les résultats des deux méthodes ont été évalués et comparés en détail. Ils ont constaté que malgré le manque des données précises et détaillées sur l'écoulement laminaire autour d'un cylindre carré que l'excellent accord entre les calculs de LBA et FVM a été trouvé pour la longueur de recirculation pour Reinférieure à 60.

D. Calluaud et al.(2001) [7]ont travaillé sur un écoulement laminaire autour d'un cylindre et carré. L'écoulement en régime établi autour d'un cylindre carré disposé sur une plaque plane est examiné par des visualisations des mesures par vélocimétrie par imagerie de particules (PIV) et des simulations numériques pour un nombre de Reynolds de 1000.

N. Takafumi et al.(2006) [8] ont effectué une étude numérique bidimensionnelle del'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 AverageNumericalSimulation).

P.F. Zhang et al.(2006) [9] 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 trainée moyenne et le coefficient de fluctuation de portance du cylindre peuvent être réduits par une tige ascendante.

P.Ribot et Y. Blanchet (2007) [10] ont réalisé une étude expérimentale et numérique de l'écoulement de fluide autour d'un cylindre avec variation de fluide (air, 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.

R. Belakroumet al.(2007)[11] 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.

Shuyang Cao –YukioTamura(2008) [12] ont étudié numériquement et expérimentalement l'écoulement autours d'un cylindre circulaire pour un nombre de Reynolds sous-critique. Ils ontconstaté 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.Huptas et W.Elsner(2008) [13] ont réalisé une simulation stationnaire de l'écoulement autour de deux obstacles carré. Les résultats numériques sont obtenus à l'aide du code commercial FLUENT pour analyser la structure de l'écoulement autour d'un cube simple d'une part, et autour deux cubes d'autre part. Ils ont constaté dans le premier cas que les effets clairs de l'épaisseur de la couche limite sur la couche de cisaillement dans le sillage sont décrits. Dans le deuxième cas, ils ont examiné d'une façon claire le décollement de tourbillon périodique en aval du premier cube et en amont du deuxième. Enfin, ils ont montré que la longueur de séparation est considérablement réduite avec l'augmentation du rapport tel que est l'épaisseur de la couche limite, et H est le côté du cube.

N.Hafida etS.Mohamed(2010) [14] ont mené une étude numérique des effets des obstacles carrés sur le profil du vent.Cette étude leur permis d'évaluer les perturbations aérodynamiques engendrées par la présence d'un obstacle carré dans un champ de vitesse caractérisé par un profil incident parallèle et logarithmique. Les équations régissant l'écoulement du fluide supposé incompressible ont été résolues via des modèles numériques CFD .Toutefois, les zones de recirculations, les longueurs de rattachement et les points de séparations ont été évalués pour des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^4 et10^5. Ils ont montré l'évolution des forts gradients de vitesse qui se forment autour du bâtiment et près du sol.

J.Yojina et al.(2010) [15] ont présenté une investigation aux configurations de l'écoulement dans un canal avec l'existence des obstacles carrés. La modélisation est réalisée par la méthode de Boltzmann (LBM).le nombre de Reynolds est compris entre 1 et 300. Les lignes de courant et les profils de vitesse sont présentés pour indiquer le décollement des tourbillons. Les résultats obtenus prouvent que l'écoulement est laminaire à l'entrée, ensuite, ils ont constaté une transition périodique et instable sur l'écoulement. Cette transition est obtenue au fur et à mesure avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

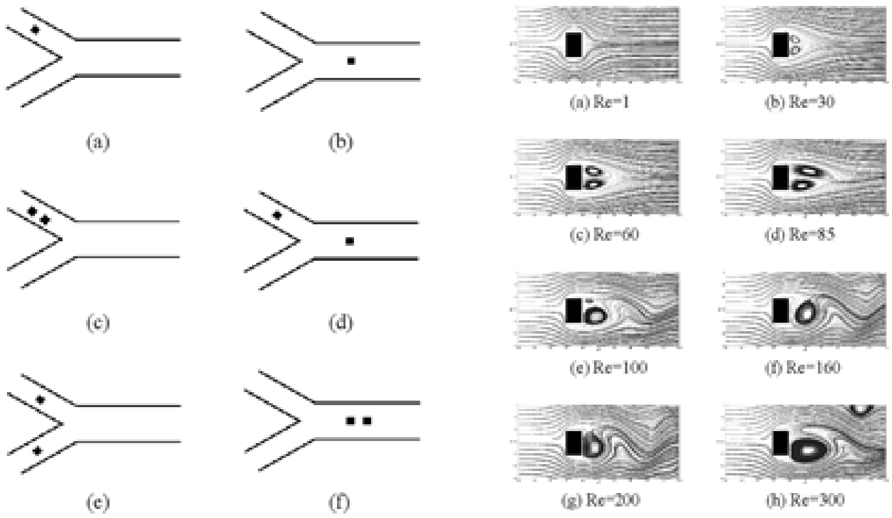


Figure I.5 : Ecoulement dans un canal avec l'existence des obstacles carrée et les lignes de courant à défèrent Reynold [15].

B.Gera et al. (2010)[16] ont étudié avec CFD (computationnel fluide dynamique) l'écoulement instationnaire 2D autour d'un obstacle carré. La simulation a été réalisée afin d'analyser le comportement de sillage. Le nombre de Reynolds a été pris de l'ordre de 50 à 250.

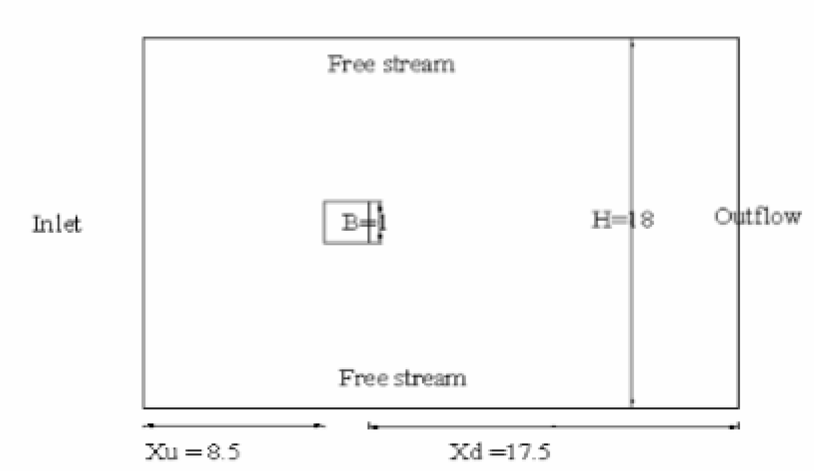


Figure I.6 : Ecoulement autour d'un carrée [16].

M.M. Ouestati et al.(2010)[17] 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, puisque la limite de pression est éliminée des équations de gouvernement et satisfait automatiquement l'équation de continuité.

S. Mossaz(2011)[18]a étudié l'écoulement rampant, circulant et instationnaire d'un fluide viscoplastique autour d'un cylindre. Il a étudié numériquement, les morphologies des écoulements, la localisation des zones rigides, les champs de contraintes et pression autour du cylindre ainsi que le coefficient de traînée. Le montage expérimental conçu et réalisé a été validé parl'étude de l'écoulement d'un fluide newtonien autour d'un cylindre et la mise en place d'une procédure adaptée pour les fluides à seuil. Il a pu constater l'influence des conditions d'interface avec l'apparition d'une morphologie de lâchers de tourbillons simultanés et symétriques, la figure suivant montre l'évolution des différentes zones rigides et lignes de courant lorsque le nombre de Reynolds augmente en passant du régime rampant à recerclant.

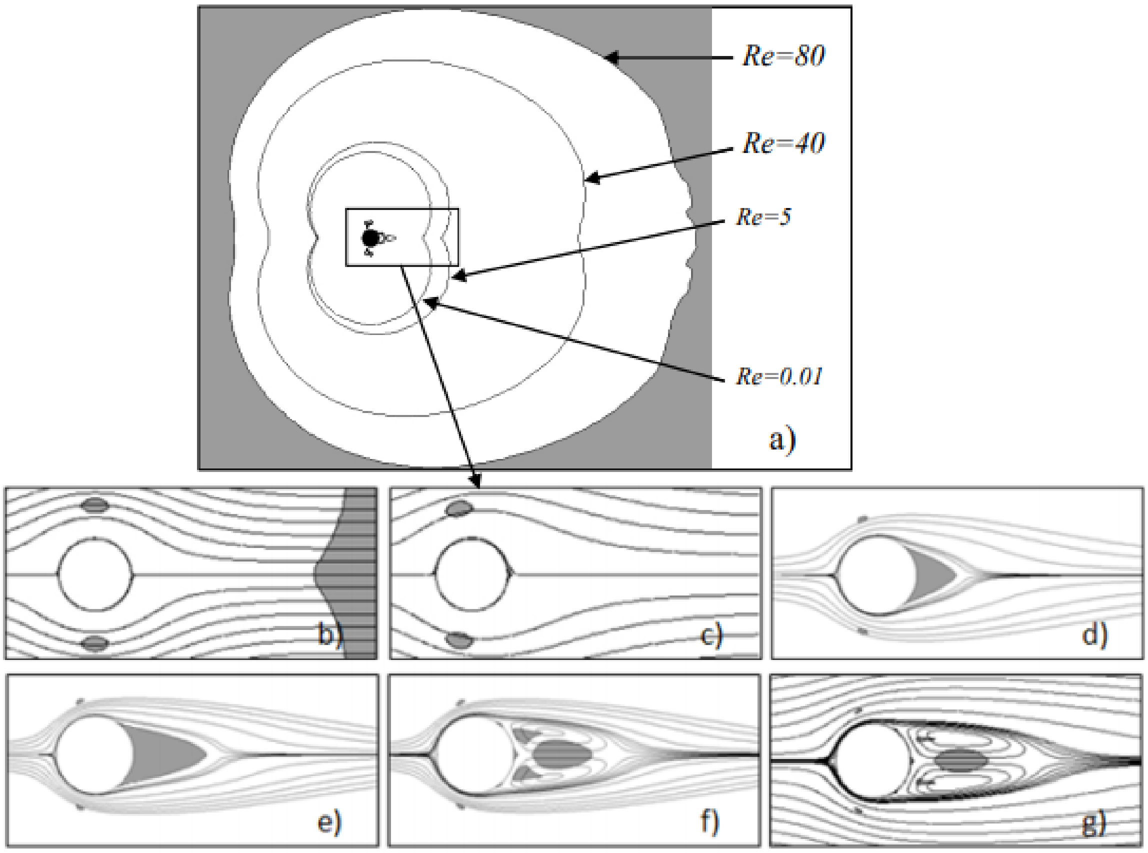


Figure I.7 : Evolution de la zone rigide 1 (en gris et ligne frontière) en fonction du nombre de Reynold : a) Re=0.01 b) Re=5 c) Re=40 d) Re=68 e) Re=70f) Re=80 [18].

Chapitre II : Modélisation Mathématique

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la définition des équations hydrodynamiques qui régissent le phénomène physique de l'écoulement bidimensionnel d'un fluide incompressible autour d'un obstacle de forme circulaire. Par la suite, nous allons donner un aperçu global sur la méthode numérique utilisée pour la résolution des équations hydrodynamiques, à savoir la méthode des volumes finis (MVF).

II.1 Problème physique et formulation mathématique

II.1.1 Géométrie d'intérêt

Le problème physique que nous souhaitons modéliser numériquement consiste ont l'écoulement bidimensionnel d'un fluide visqueux autour d'un obstacle de forme circulaire comme le montre la figure II.1. Notre géométrie d'intérêt représente un domaine fluide de longueur L = 31.5 cm et de largeur L = 25 cm. Un cercle de diamètre D = 1 cm est immergé dans le domaine fluide et placé à x= 11.5 cm de l'entrée du domaine fluide et à une hauteur y= 12.5 cm.

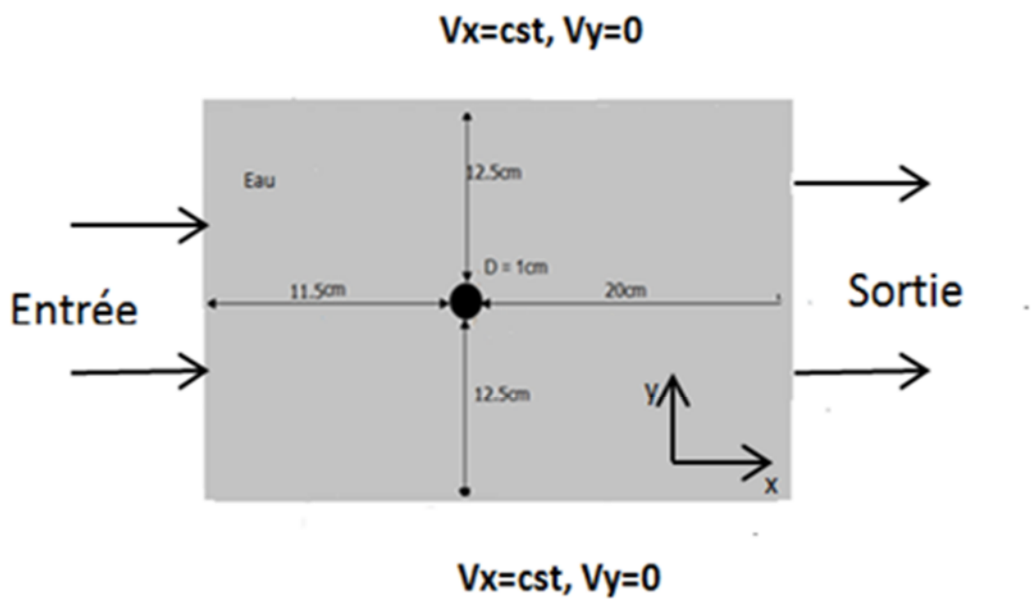


Figure II.1 :Les dimensions et les conditions de la géométrie.

II.1.2 Formulation mathématique

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.1.2.1Equation 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 :

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \times \mathrm{div}\,\overrightarrow{V} = 0 \qquad (II.1)$$

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.

ρ est la masse volumique du fluide (kg.m^{-3}).

Si le fluide est incompressible, la masse volumique ρ est constante et on aura :

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\partial\rho}{\partial y} = 0 \qquad (II.2)$$

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

$$\mathrm{div}\overrightarrow{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0.$$

Donc : $\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}= 0$ **(II.3)**

II.1.2.2Equations 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 :

$$\rho\frac{d\vec{V}}{dt} = \rho\vec{f} - \overrightarrow{grad}p + \mu\Delta\vec{V} \quad \text{(II.4)}$$

Et qui peut s'exprimer comme suit :

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{f} - \frac{1}{\rho}\overrightarrow{grad}p + \nu\Delta\vec{V} \text{(II.5)}$$

Dans la précédente équation :

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

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

ρdésigne la masse volumique du fluide ($kg.m^{-3}$).

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 projectons l'équation II.5sur les axe X, Y, et étant donné queU_X, V_Y sont les composantes de vitesse selon X, Y respectivement,donc nous obtenons :

- Suivant l'axe X :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = f_x - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \quad \text{(II.6)}$$

- Suivant l'axe Y :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = f_y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \quad \text{(II.7)}$$

II.2 Conditions aux limites

La résolution des problèmes de mécanique des fluides n'est possible que lorsque les conditions aux limites sont conjointement appliquées aux frontières du domaine d'étude (entrées, sorties, etc…), et les variables aux frontière (vitesse, pression, etc…). Ces conditions sont liées à degrés des équations différentielles, dans notre cas les conditions sont résumées dans le tableau suivant :

Les frontières	La condition
Frontière gauche	Vitesse d'entrée
Frontière supérieur	Vitesse d'entrée
Frontière inférieur	Vitesse d'entrée
Frontière droite	Sortie
Cylindre	Obstacle

Tableau II.1 : Les conditions aux limites.

II.3Propriétés du fluide de circulation

Le fluide de circulation est un fluide visqueux, newtonien et incompressible autour d'un obstacle circulaire, tous les fluides possèdent des paramètres physico-chimiques permettant de décrire leurs conditions physiques dans un état donnée, ces paramètre sont la suivantes :la compressibilité, masse volumique, poids volumique, volume massique, viscosité.

II.4Méthode des volumes finis (MVF)

La résolution des équations à dérivées partielles montrées précédemment ne peut se faire de manière analytique, d'où la nécessité d'avoir recours à des méthodes itératives comme la méthode des éléments finis, différences ou encore méthode des volumes finis. Dans ce qui suit, nous allons donner un aperçu général sur la méthode des volumes finis, qui est utilisée pour la résolution du notre problème physique en se focalisant sur une discrétisation unidirectionnelle et en bidimensionnel[19].

II.4.1 Notions élémentaires sur le maillage, les nœuds et les éléments

La figure II.2 montre un domaine fluide découpé en sous domaines, cette technique est appelée maillage. Les éléments sont associés aux nœuds de discrétisation qui représentent les points de résolution des équations discrètes. Ces points peuvent être placés aux sommets, au centre ou sur les faces des éléments, selon la méthode de discrétisation utilisée [20].

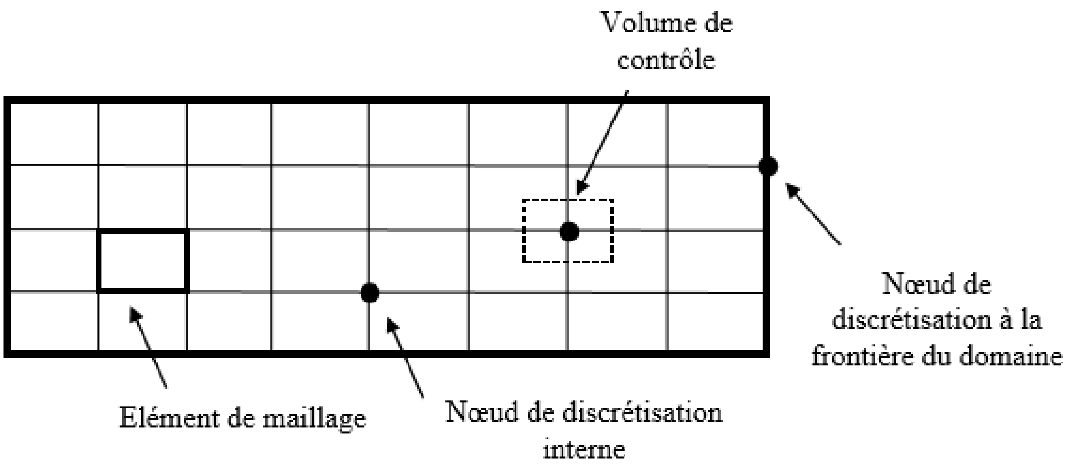


Figure II.2 :Subdivision d'un domaine fluide en sous domaines.

La méthode des volumes finis(parfois appelée méthode des volumes de contrôles) est une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en équation algébriques, qui peuvent être résolus numériquement elle consiste à intégrer les équations aux dérivées partielles (EDP) sur chaque volume de contrôle.

II.4.2 Cas monodimensionnel

La première étape dans ce cas consiste à devise le domaine en plusieurs cellules régulières appelées volumes de contrôle comme le montre la figure II.3. L'équation différentielle est alors intégrée sur chaque volume de contrôle, pour nous donner des équations discrétisées. Le principe de conservation est alors assuré pour chaque volume de contrôle et par suite il est vérifié pour tout le domaine. Chaque volume fini entoure un nœud principal "P". Les nœuds voisins sont "E" côté Est et "W" côté West. Les lignes en tirés représentent les faces du volume fini coté est (e) et coté West (w).

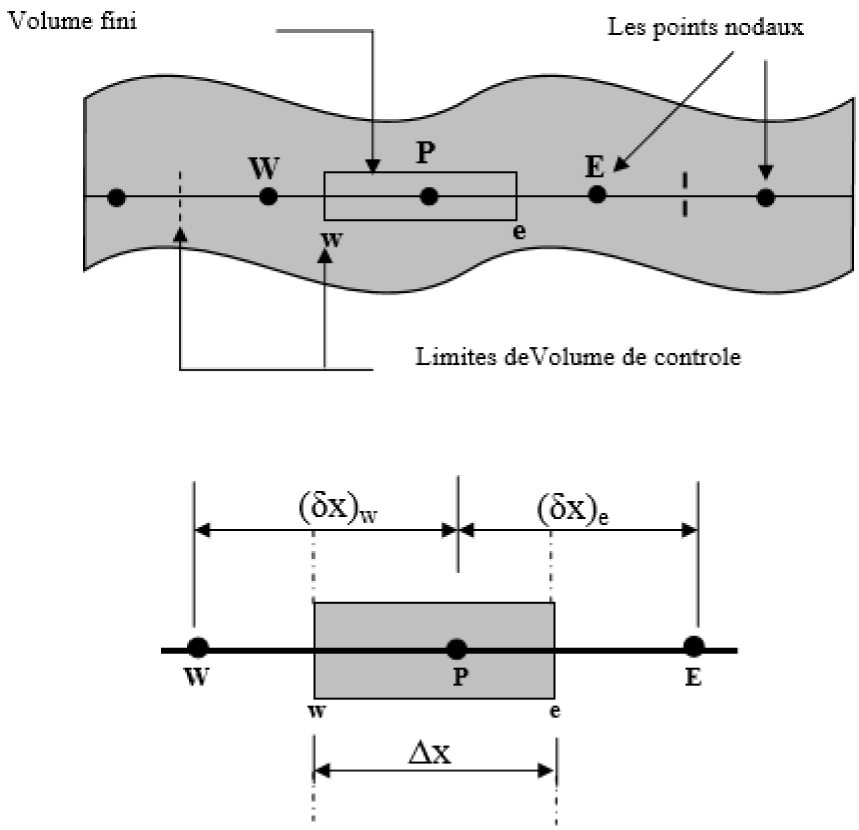


Figure II.3 : Schéma qui montre les différents nœuds et le volume de contrôle [21].

Pour un problème monodimensionnel, dans le cas de la figureII.4le domaine de calcul est divisé en cinq volumes de contrôles.

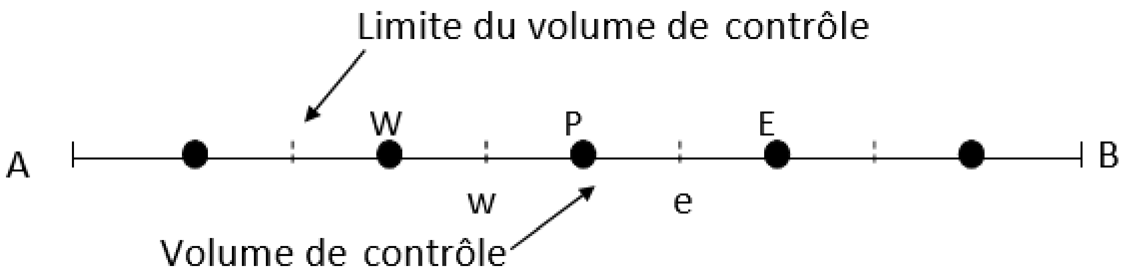


Figure II.4 : Subdivision d'un domaine fluide en sous domaine.

- Considérons un problème de transport de la variable ϕ par diffusion suivants :

$$\mathbf{div(\Gamma grad\phi) + S_{\phi} = 0 (II.8)}$$

La méthode des volumes finis permet de changer une intégrale de volume en intégrale de surface :

$$\mathbf{\int_{cv} div\,(\Gamma grad\phi)dv + \int_{cv} S_{\phi}\,dv = \int_{A}(\,\Gamma grad\phi)dA + \int_{cv} S_{\phi}\,dv = 0 (II.9)}$$

A surface enveloppant le volume de contrôle.

- L'équation II.7en 1D prend la forme suivante :

$$\mathbf{\frac{d}{dx}\left(\Gamma\frac{d\phi}{dx}\right) + S = 0 (II.10)}$$

Γ coefficient de diffusion.

S terme source.

Ont intégré l'équation II.9 sur le volume de contrôle de centre P, nous donne :

$$\mathbf{\int_{\Delta v}\frac{d}{dx}\left(\Gamma\frac{d\phi}{dx}\right)dv + \int_{\Delta v} S\,dv = (\Gamma A\frac{d\phi}{dx})_{e} - (\Gamma A\frac{d\phi}{dx})_{w} + \bar{S}\,\Delta V (II.11)}$$

Pour simplifier on a ($\Delta X_e = \Delta X_w = \Delta X$) et appliquer un schéma centré d'ordre deux pour remplace les dérivés premières sur les facettes du volume de contrôle, on' a :

$$\left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx}\right)_e = \Gamma_e A_e \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta X}\right)$$

$$\left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx}\right)_w = \Gamma_w A_w \left(\frac{\phi_P - \phi_W}{\Delta X}\right)$$

$$\bar{S}\Delta V = S_u + S_P \phi_P$$

- Donc l'équation II.11 devient :

$$\Gamma_e A_e \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta X}\right) - \Gamma_w A_w \left(\frac{\phi_P - \phi_W}{\Delta X}\right) + S_u + S_P \phi_P = 0 \quad \text{(II.12)}$$

II.4.3 Cas bidimensionnel

Dans le cas d'un problème bidimensionnel, la formulation bidimensionnelle consiste à subdiviser le domaine d'étude en un nombre d'éléments finis. Chaque élément contient quatre nœuds et un volume fini entoure chaque nœud la figure II.5montre le domaine d'étude et les nœuds :

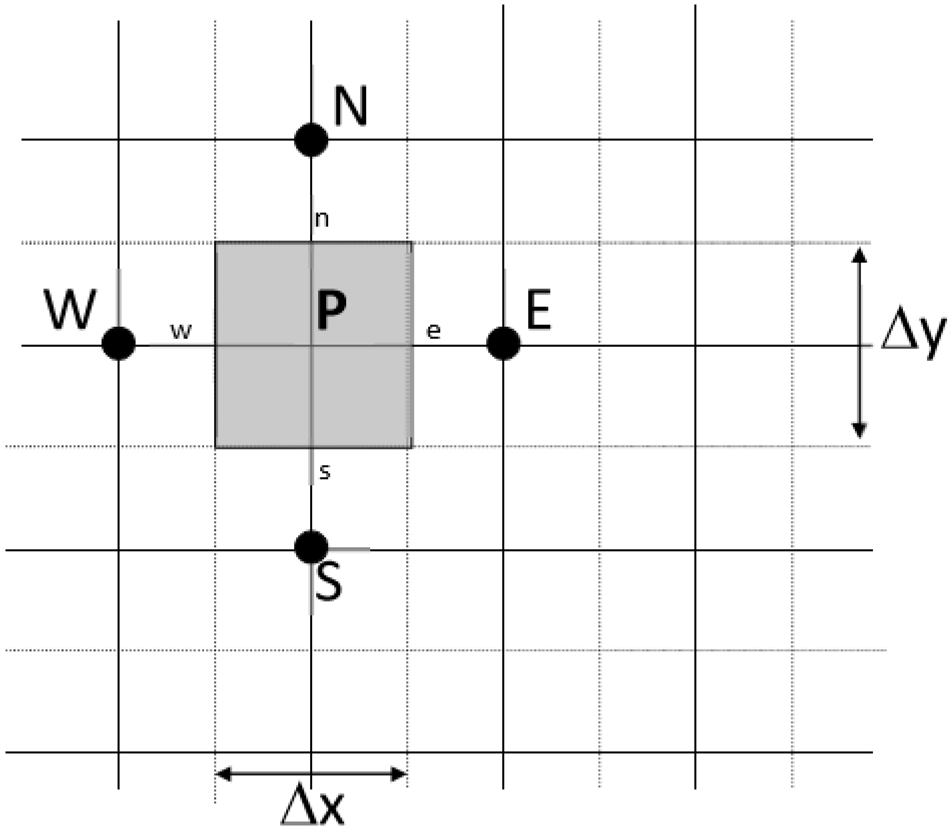
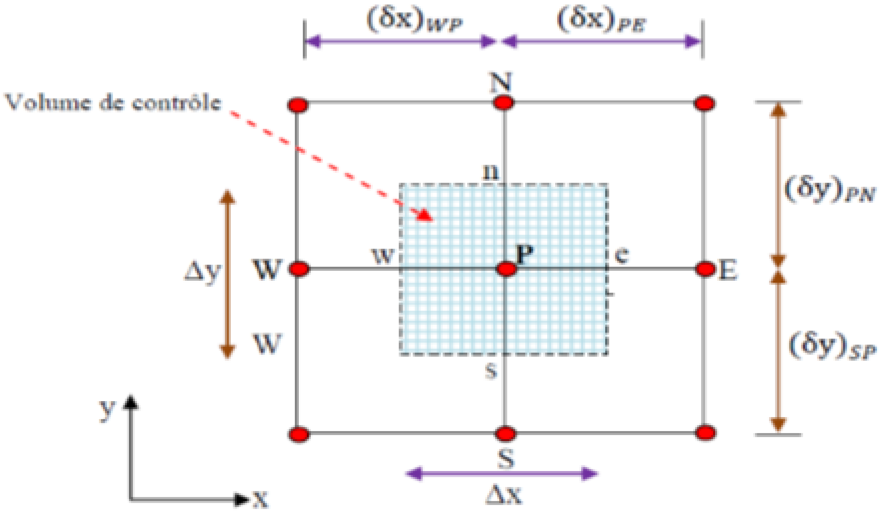


Figure II.5 : Discrétisation en volumes finis du domaine d'étude dans le cas bidimensionnel [22].

La méthode utilisée précédemment peut facilement être appliquée au cas de phénomènes de transport à deux dimensions soit l'équation suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + S = 0 \quad \text{(II.13)}$$

- L'intégration de l'équation II.13 autour du volume de contrôle de centre P comme la montre la figure II.6 nous donne :



FigureII.6 : Volume de contrôle bidimensionnel[20].

$$\int_{\Delta V}\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)dxdy+\int_{\Delta V}\frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)dxdy+\int_{\Delta V}S_{\phi}\,dV=0 \quad (II.14)$$

On utilisant les égalités suivantes :$A_e = A_w = \Delta_y$ et $A_n = A_s = \Delta_x$ nous obtenons:

$$\left[\Gamma_e\left(\frac{\partial\emptyset}{\partial x}\right)_e-\Gamma_w\left(\frac{\partial\emptyset}{\partial x}\right)_w\right]\Delta y+\left[\Gamma_n\left(\frac{\partial\emptyset}{\partial y}\right)_n-\Gamma_s\left(\frac{\partial\emptyset}{\partial y}\right)_s\right]\Delta x+\bar{S}\,\Delta V=0 \quad (II.15)$$

En utilisant les approximations centrées on a :

Le flux à travers la face ouest :$\Gamma_w = \frac{\partial\emptyset}{\partial x}\Big|_w = \Gamma_w\frac{(\emptyset P-\emptyset W)}{\Delta x}$Leflux à travers la face est :$\Gamma_e = \frac{\partial\emptyset}{\partial x}\Big|_e = \Gamma_e\frac{(\emptyset E-\emptyset P)}{\Delta X}$

Le flux à travers la face nord :$\Gamma_n = \frac{\partial\emptyset}{\partial y}\Big|_n = \Gamma_n\frac{(\emptyset N-\emptyset P)}{\Delta y}$Le flux à travers la face sud :$\Gamma_s = \frac{\partial\emptyset}{\partial y}\Big|_s = \Gamma_s\frac{(\emptyset P-\emptyset S)}{\Delta y}$

Donc l'équationII.15 devient :

$$\Gamma_e \Delta y \frac{(\emptyset E - \emptyset P)}{\Delta x} - \Gamma_w \Delta y \frac{(\emptyset P - \emptyset W)}{\Delta x} + \Gamma_n \Delta x \frac{(\emptyset N - \emptyset P)}{\Delta y} - \Gamma_s \Delta x \frac{(\emptyset P - \emptyset S)}{\Delta y} + \bar{S}\,\Delta V = 0 \quad (II.16)$$

II.5Principe de la méthode des volumes finis

Dans cette section, nous allons récapituler les étapes à suivre pour résoudre les équations qui régissent le problème physique en utilisant la méthode des volumes finis.

La résolution de ces équations passe par quatre étapes principales, qui sont :

Etape 1 : Effectuer un maillage du domaine d'étude : ceci se fait en plaçant un certain nombre de nœuds dans ce domaine et en construisant un volume fini ou un volume de contrôle autour de chaque nœud. Ce volume de contrôle est délimité par des interfaces.

Etape 2 : Intégrer l'équation aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle.

Etape 3 : Choisir un profil de variation de la quantité à trouver (par exemple : température, pression, etc.….) entre deux nœuds consécutifs pour pouvoir évaluer les dérivées à l'interface.

Ceci nous conduit à l'obtention d'une équation algébrique simple appelée « équation discrétisée » qui est propre à chaque nœud du domaine. Donc, si celui-ci est constitué de n nœuds, on aurait n-équations algébriques à résoudre, il y a donc, autant de nœuds que de volumes de contrôle d'où la performance de la méthode des volumes finis comparativement aux autre méthodes.

Etape 4 : Résoudre le système d'équations obtenu par l'une des méthodes de résolution des équations algébriques linéaires. Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous domaines élémentaires, appelés volumes de contrôle. La méthode des volumes finis consiste à intégrer les équations aux dérivées partielles.

Chapitre III : Simulation Numérique

Dans ce chapitre, nous allons exposer les étapes à suivre pour la simulation d'un l'écoulement d'un fluide autour d'un obstacle circulaire en utilisant le logiciel Gambit version 2.4 pour la création et le maillage de la géométrie, et le logiciel fluent pour résolution numérique des équations de transferts.

III.1 Esquisse et maillage de la géométrie sur le logiciel Gambit

Dans ce qui suit nous allons exposer les étapes suivies pour l'esquisse et le maillage de la géométrie d'intérêt, présentée précédemment sur le logiciel Gambit V 2.4.

1. **Création des points :** On positionne les pointsavec leurs coordonnées pour définir les frontièresetles dimensions de la géométrie.

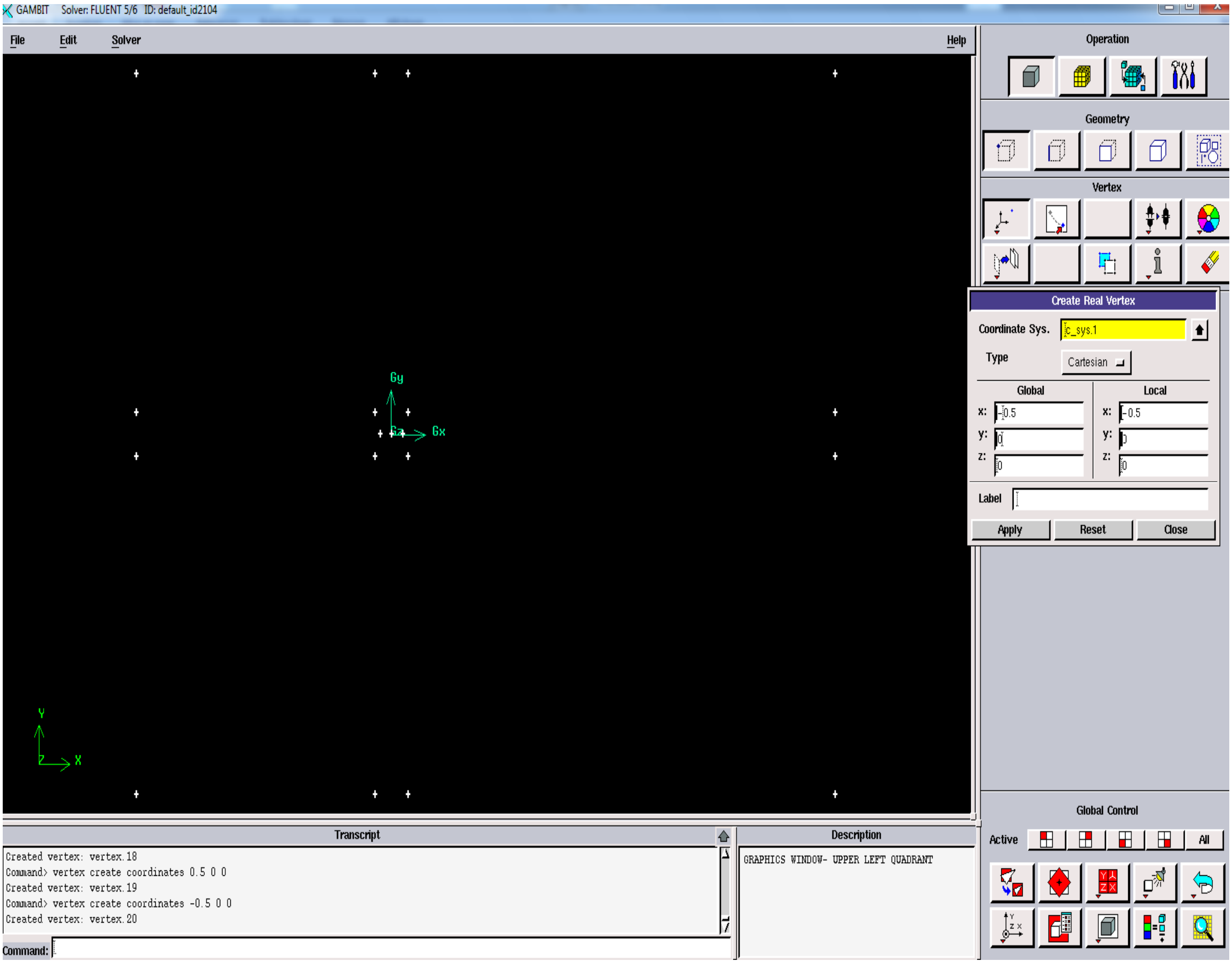


Figure III.1 : Créations des points

2.Création des lignes : On rejointles points existants pour créer des lignes.

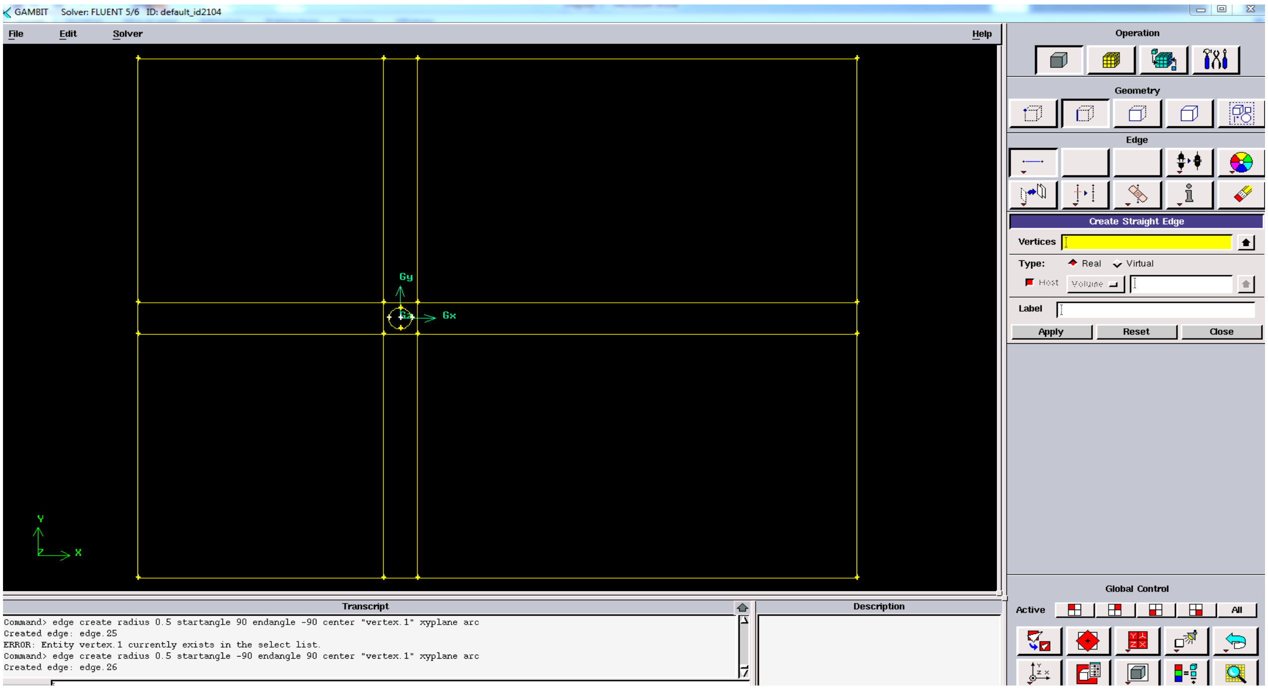


Figure III.2: Créations des lignes

3. Création des faces : On façonne les faces à partir des lignes existantes et on soustrait la face de l'obstacle comme un mur 'wall'.

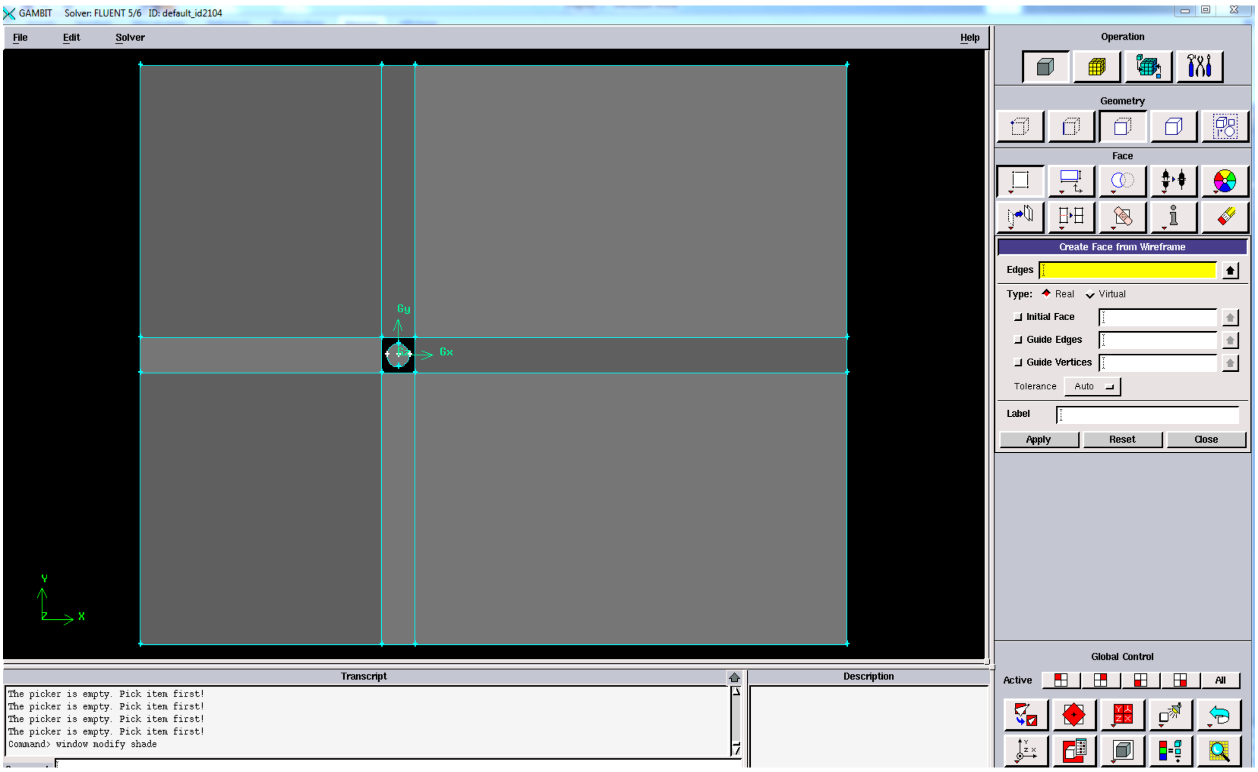


Figure III.3: Création des faces

4. Maillage des lignes : On subdivise chaque ligne en sous -domines et on augmente la densité des nœuds, pour chaque lignesde base elle a 133 nœuds. Chaqueun segment il a un raffinement spécifique dans une zone précise.

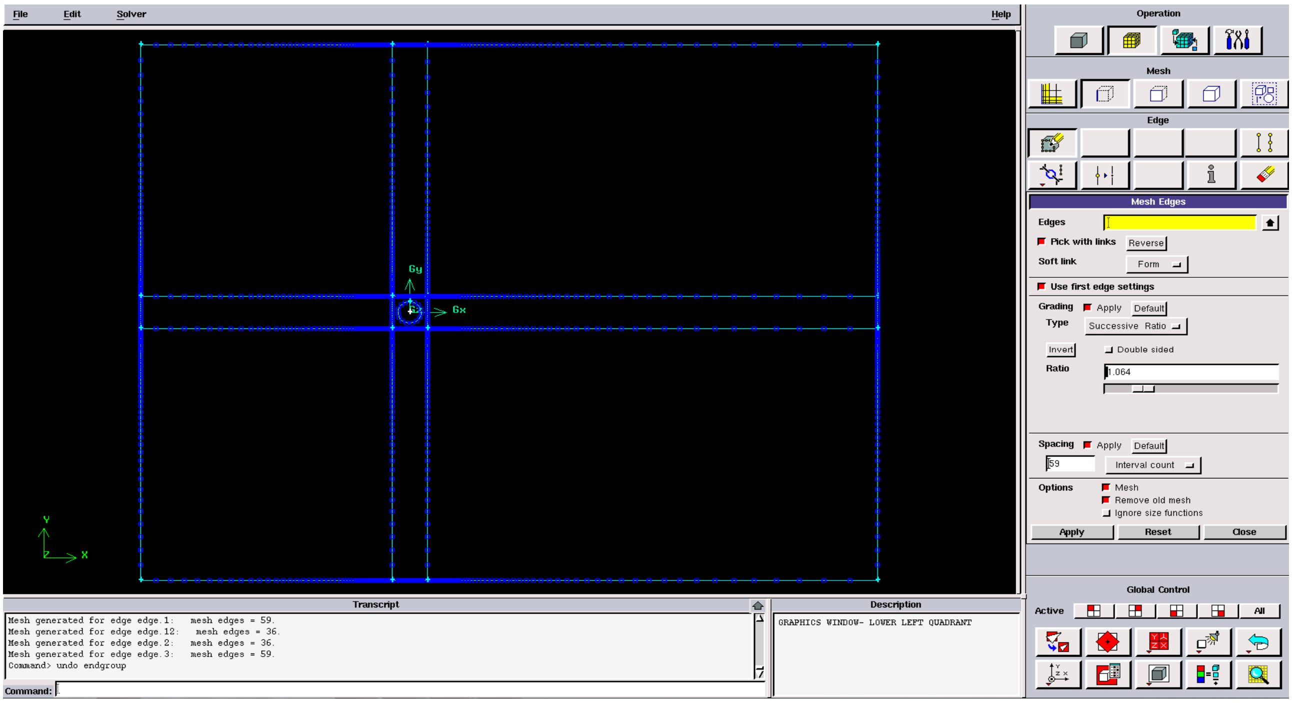


Figure III.4: Maillage des lignes

5. Maillage des faces : On maille les grandes faces avec l'élément carré et pour la face d'obstacle, on utilise l'élément triangulaire. Le nombre des cellules totales est de 16 122.

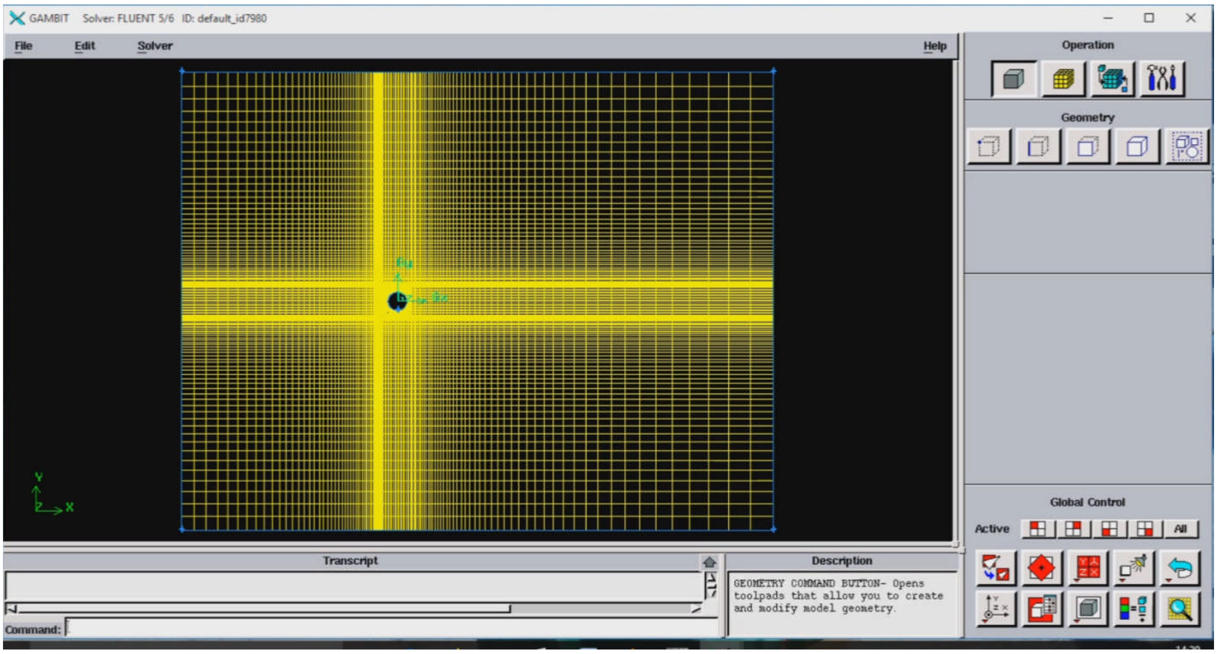


Figure III.5: Maillage des faces

6. **Application des conditions aux limites :**Après avoir terminé le maillage du domaine, on pose les conditions aux limites, comme cité précédemment

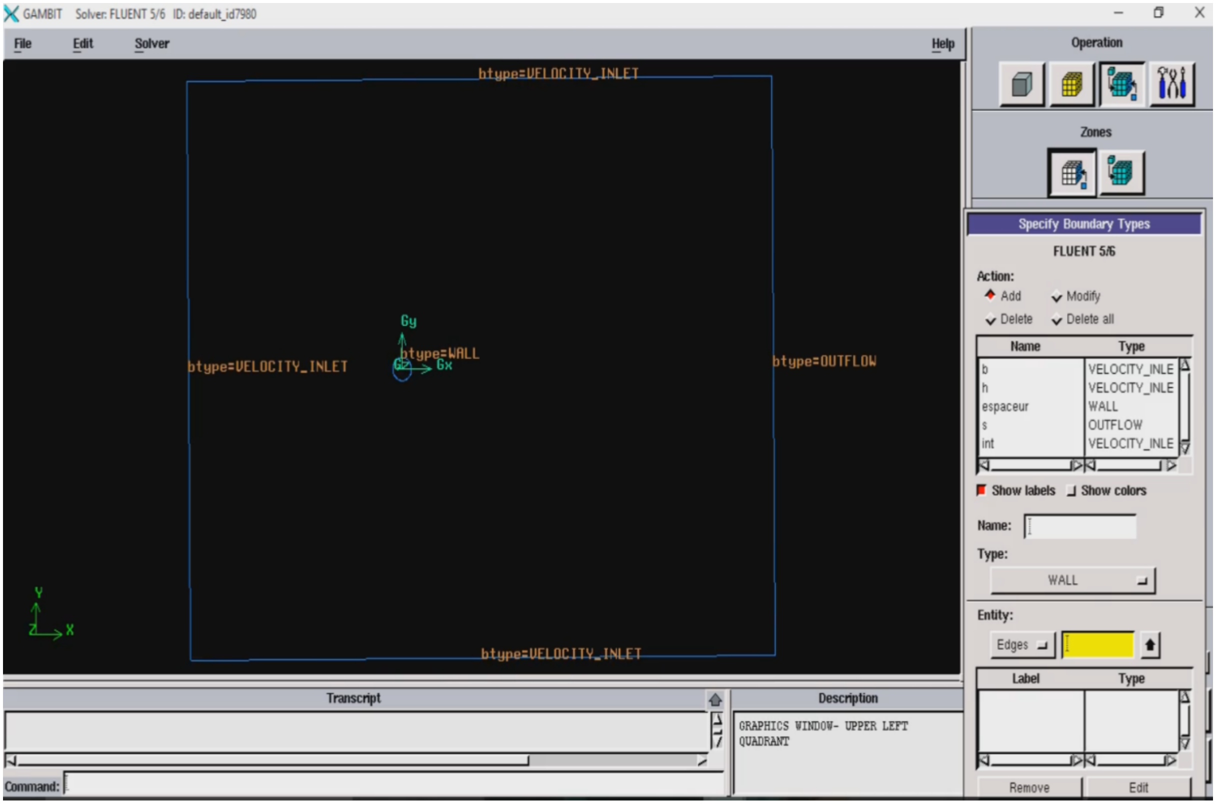


Figure III.6: les conditions aux limites

7.**Enregistrement et exportation du fichier maillé** : Une fois, la géométrie a été créée et les conditions aux limites définies, on exporte le fichier mailléver Fluent 5/6 et donner un nome pour enregistrer.

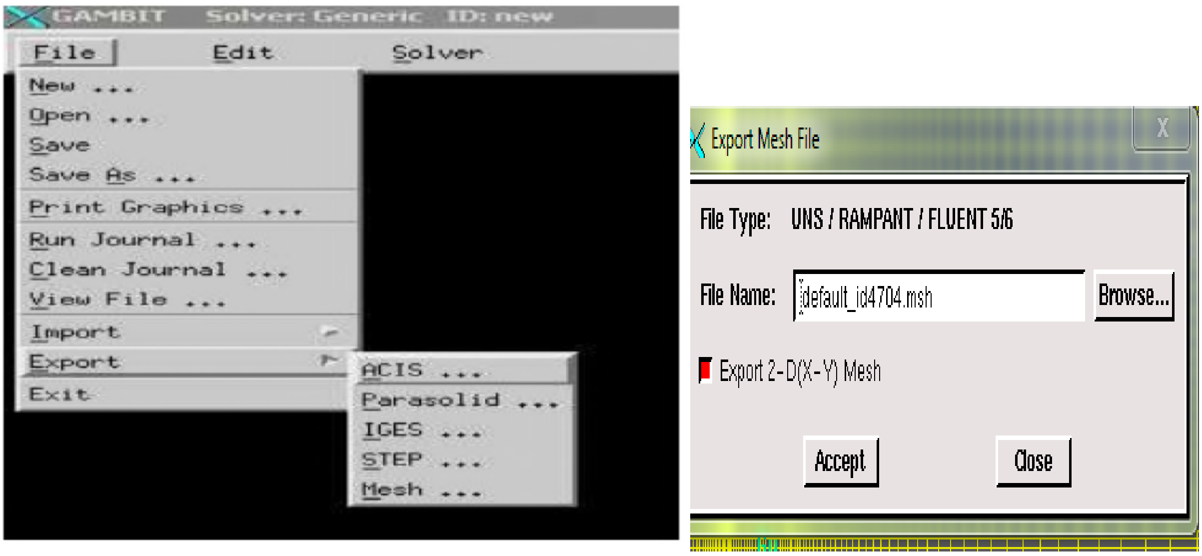
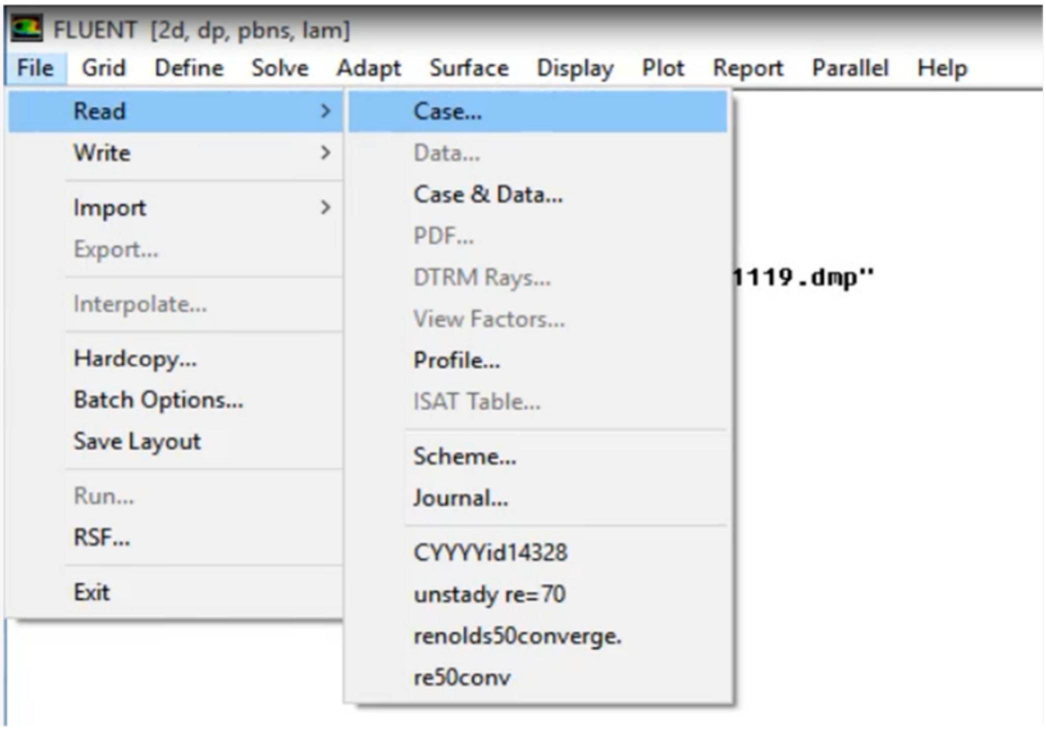


Figure III.7 : Parcours de sauvegarde de données en fichier msh sous Gambit

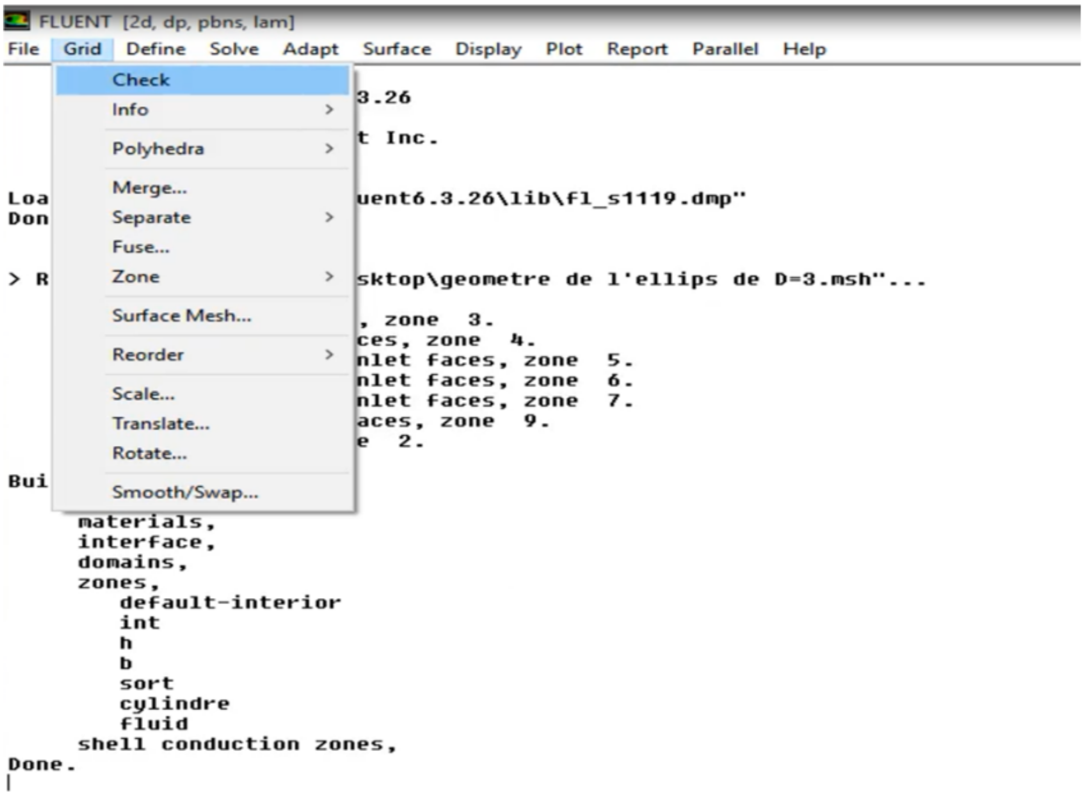
III.2 Résolution des équations de transfert sur fluent version 6.3

Dans ce qui suit, on présente la manière utilisée dans la simulation sur le code Fluent V6.3.Lesétapes de lasimulation est suivant :

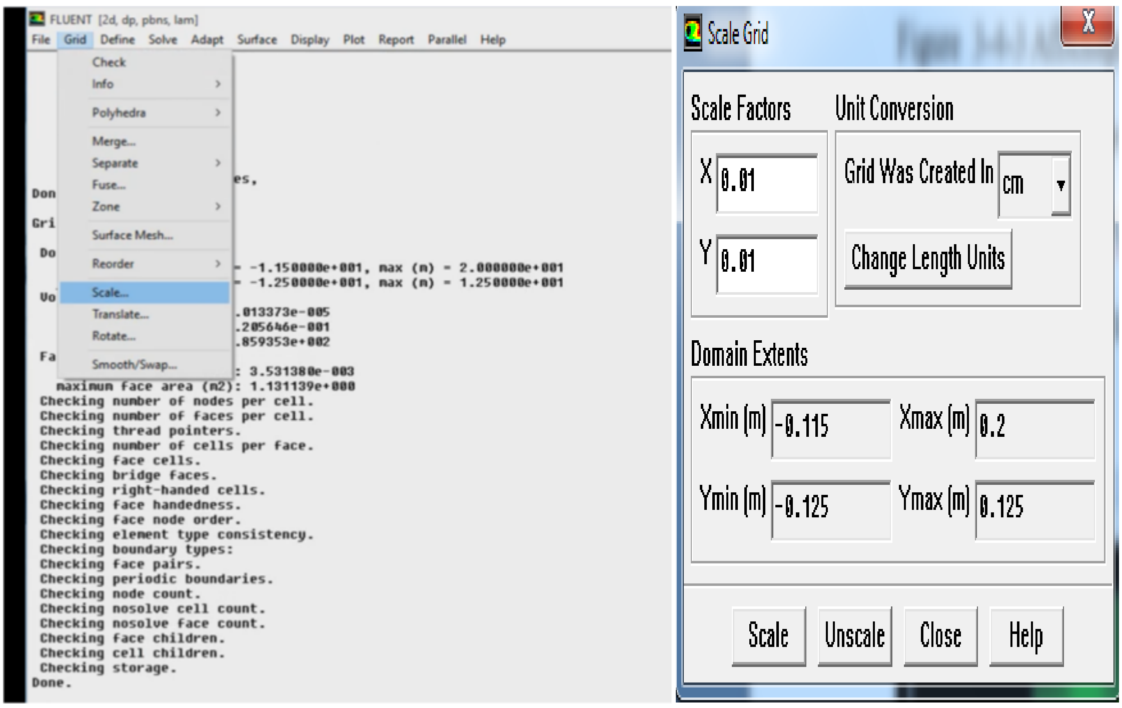
1. Avant de commencer la simulation sur fluent. Il faut d'abordimporter la géométrie générée, par Gambit sous format 'msh'voir la figure III.8. Puis vérifie la qualité du maillage importé 'chek 'comme montre la figure III.9**.** Enfin, onvérifier les dimensions de la géométriegrâce à l'outil 'scal', figure III.10**.**



FigureIII.8: Vérification du maillage sous Fluent

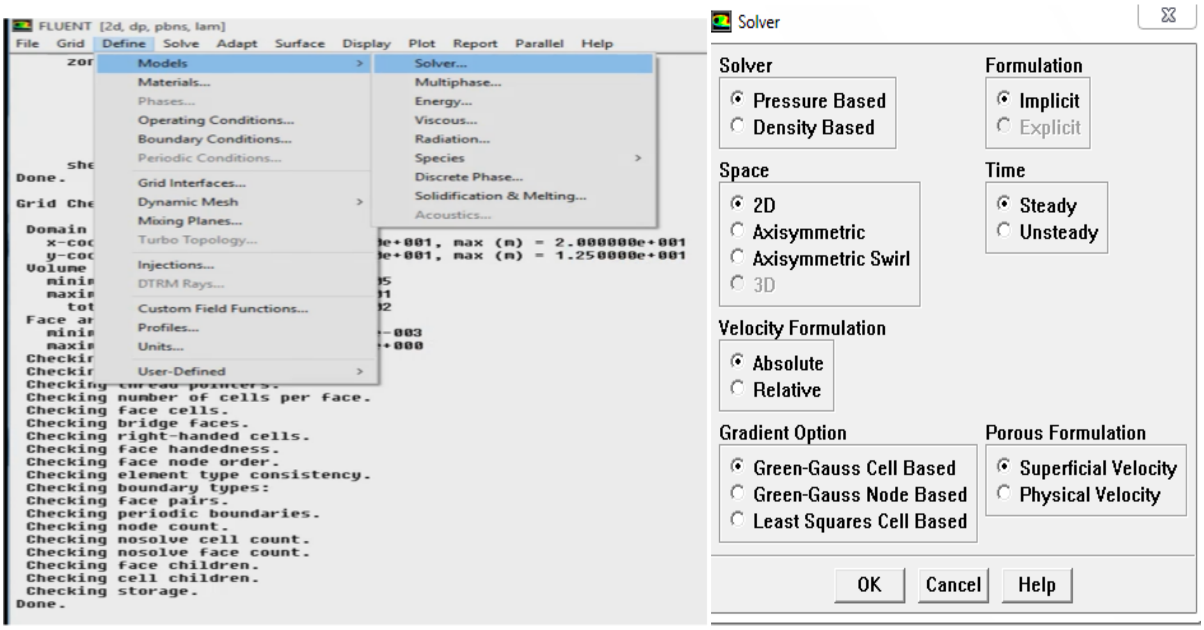


FigureIII.9:Vérification du maillage



FigureIII.10: Affichage de la grille et vérification les dimensions

2.Choix du solveur : ou'on choisit le régime stationnaire pour les vitesses 0.002 m/s< V <0.006m/s et le régime instationnaire pour les vitesses 0.006 m/s < V < 0.012m/s.



FigureIII.11: Choix de régime

3.Définitiondes caractéristiques du fluide : On sélectionnel'eau standard comme liquide de circulation.

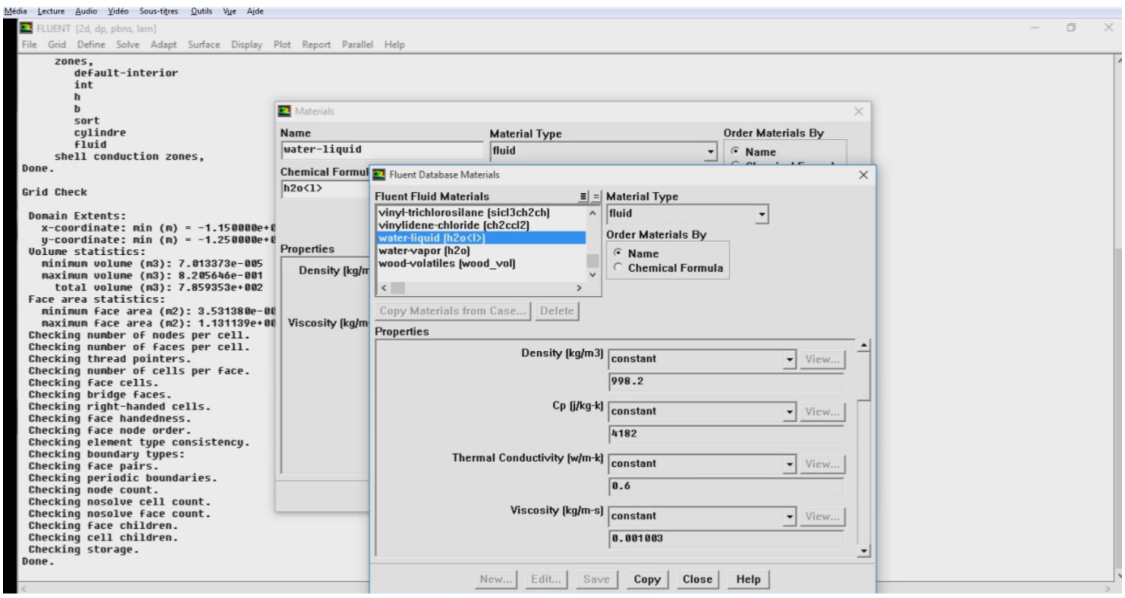


Figure III.12: Choix de type de fluide

4. Application des Conditions aux limites :on applique les conditions àlimites montrés précédemment dans ce cas, on applique une vitesse Vx =0.002m/s.

.

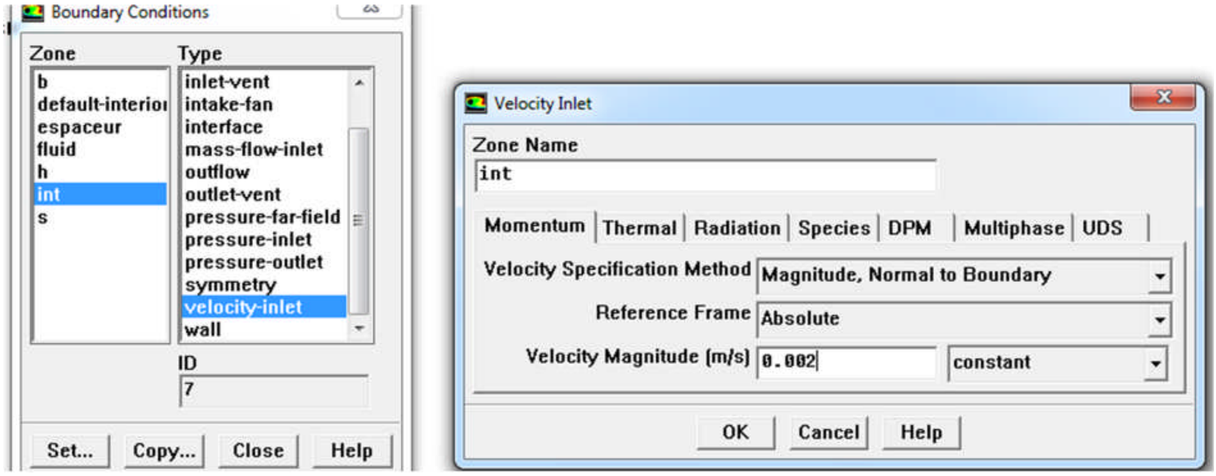


Figure III.13: Valeurs des conditions aux limites

5. Contrôle de la solution : On sélectionne le schéma amont du deuxième ordre et on laisse le simplexe de la vitesse avec pression. Ceci permet de spécifier le degré d'ordre des équations à résoudre.

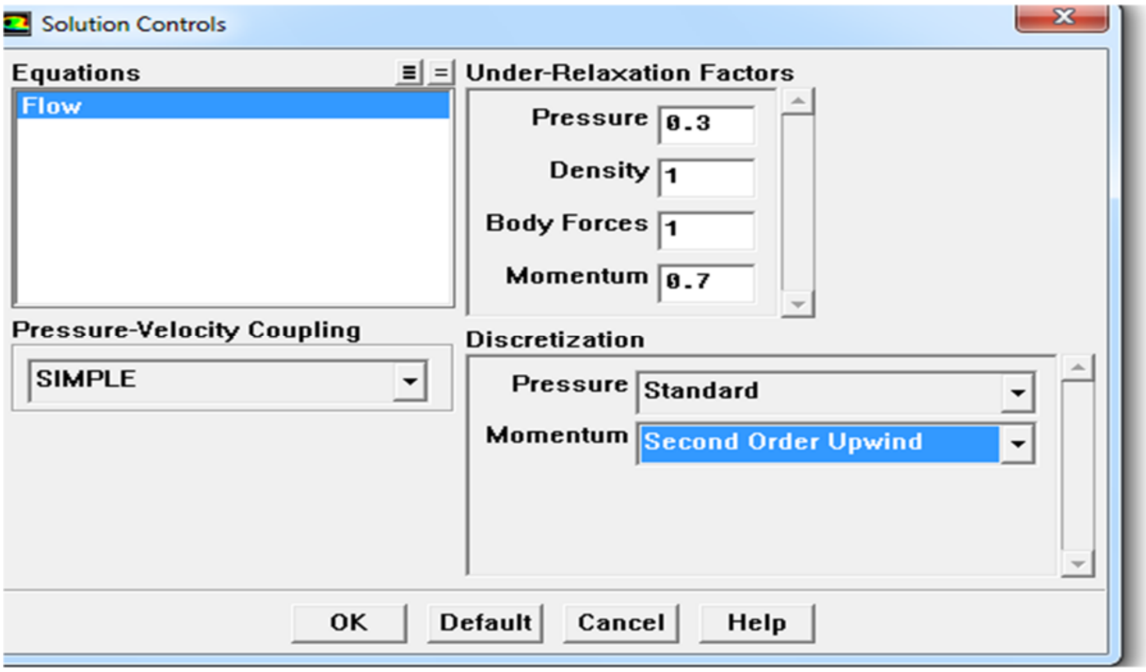


Figure III.14: Choix d'ordre des équations

6. Initialisation du calcul : On fixe les conditions initiales du système d'itérations que l'on veut faire pour résoudre et aussi la valeur limite des résidus.

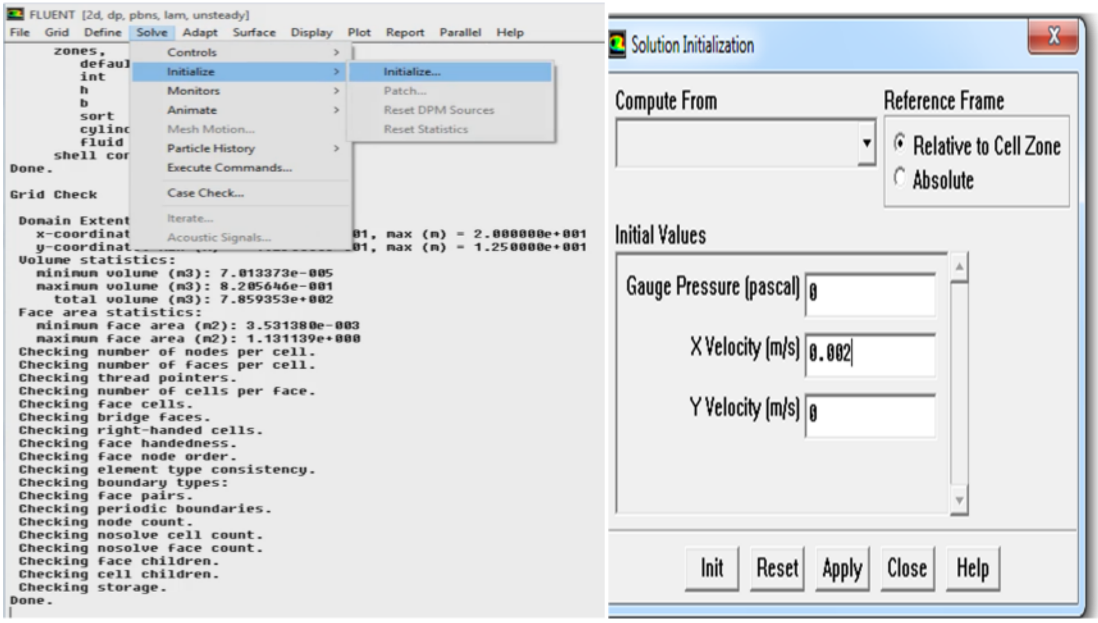


Figure III.15: Démarrage de calcul

7. **Choix des critères de convergence :**Onchoisit les critères de l'ordrede convergence.

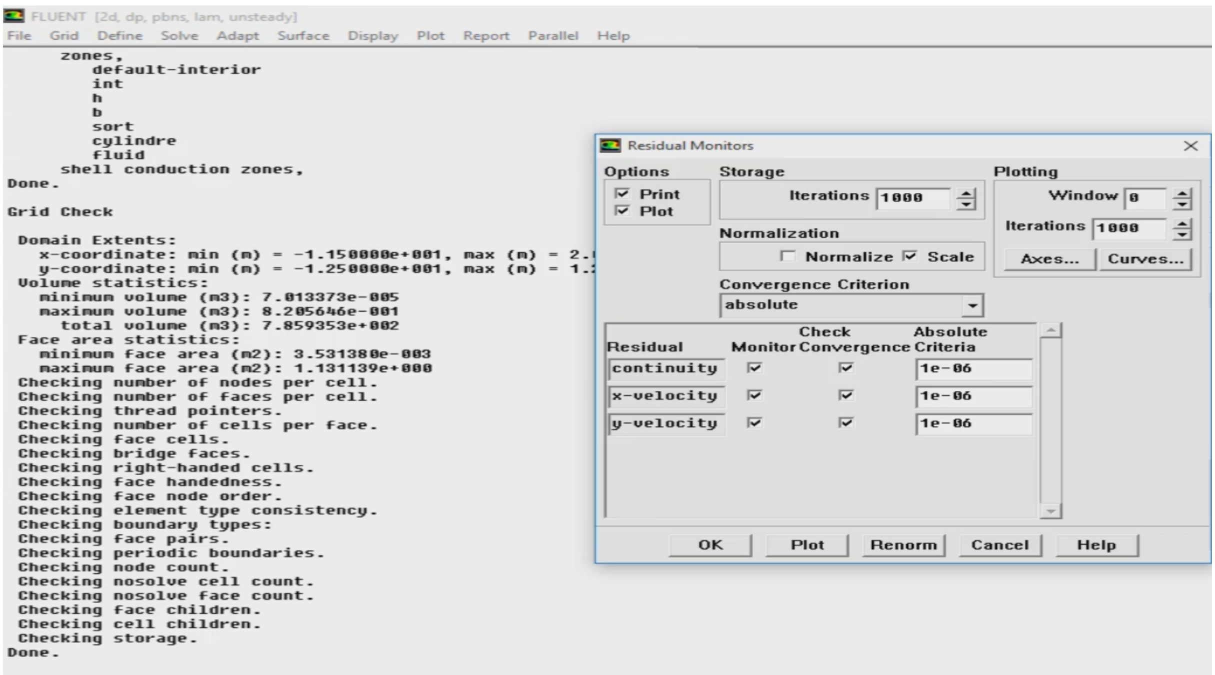


Figure III.16: Les calculs des critères de convergence

8. Lancement du calcul : Dans le cas d'un régime stationnaire, on lance le calcule on choisissant le nombre d'itérations de calcul comme montre la figure III.18.

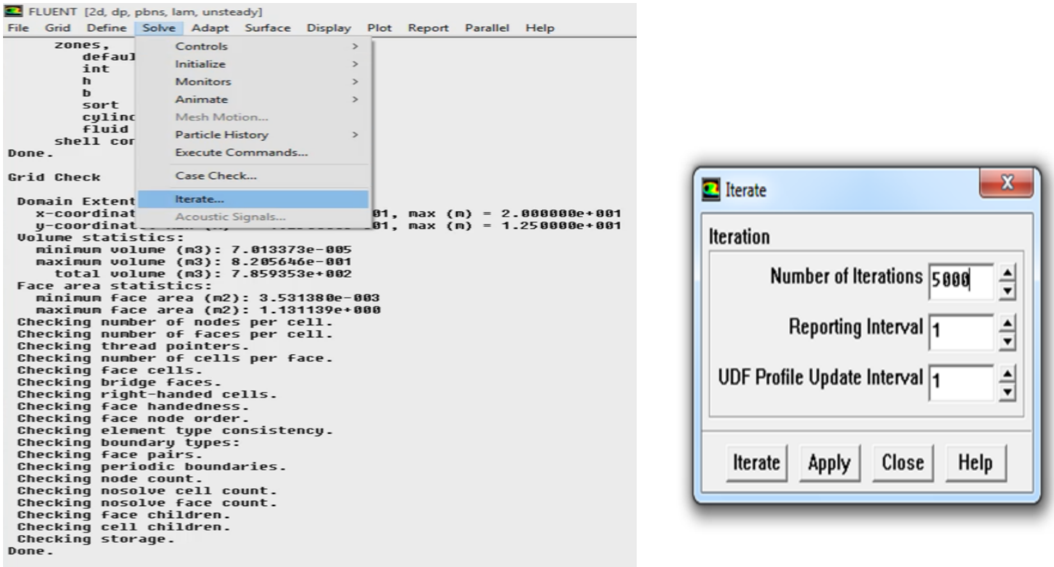


Figure III.17:Nombre des itérations pourlancer le calcul

9. Allures de l'évolution des résidus de calcul : Les résidus sont calculés à partir des corrections dans les variables ; pression, vitesse, température…etc. du problème entre la présente itération et l'itération précédente. Dans la plupart des cas, il faut que la solution converge.

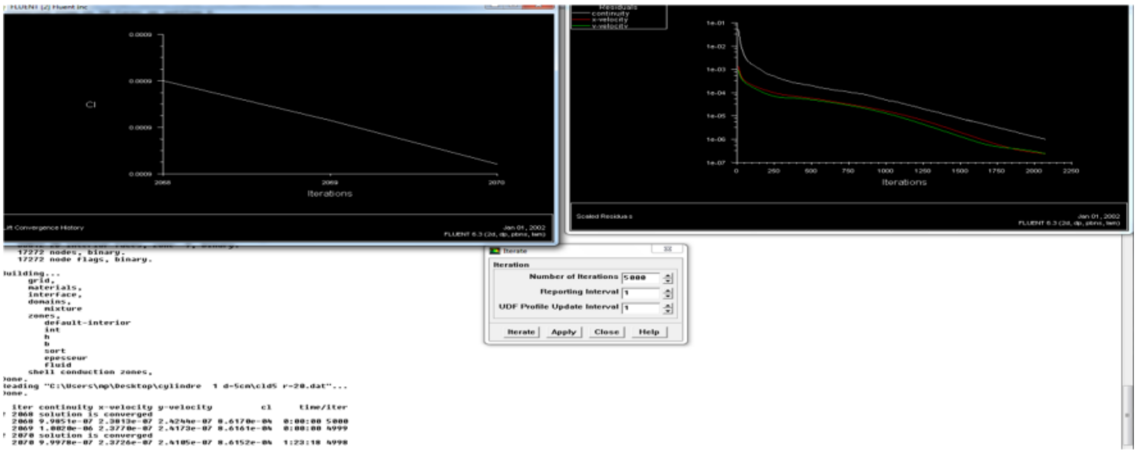


Figure III.18:L'évolution des résidus et calcule de convergence.

10. Affichage : Une fois le calcul arrêté, on visualise les résultats obtenus comme les contours …etc.

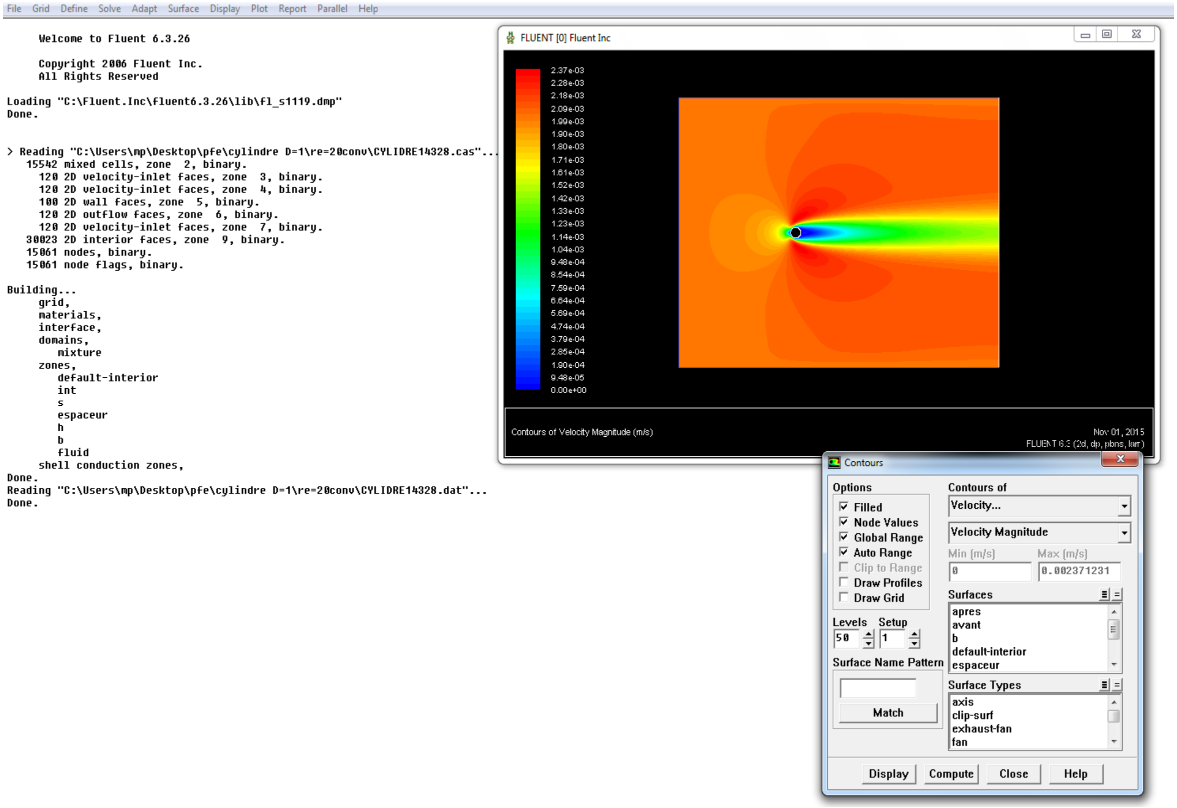


Figure III.19: Un exemple des contours (vitesse relative).

11. Enregistrement de fichier : A la fin on sauvegarde le fichier des résultats afin d'effectuer des perfectionnements, ou de modifications sur le modèle.

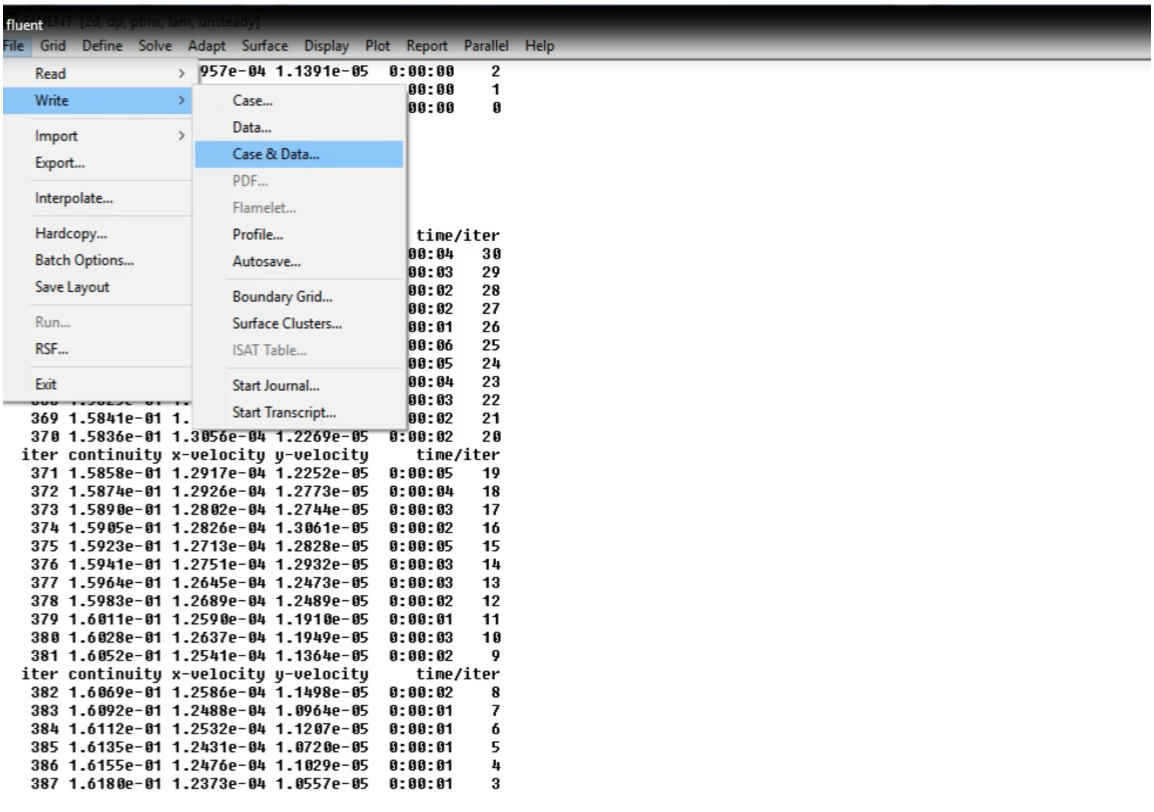


Figure III.20: Enregistrée des résultats

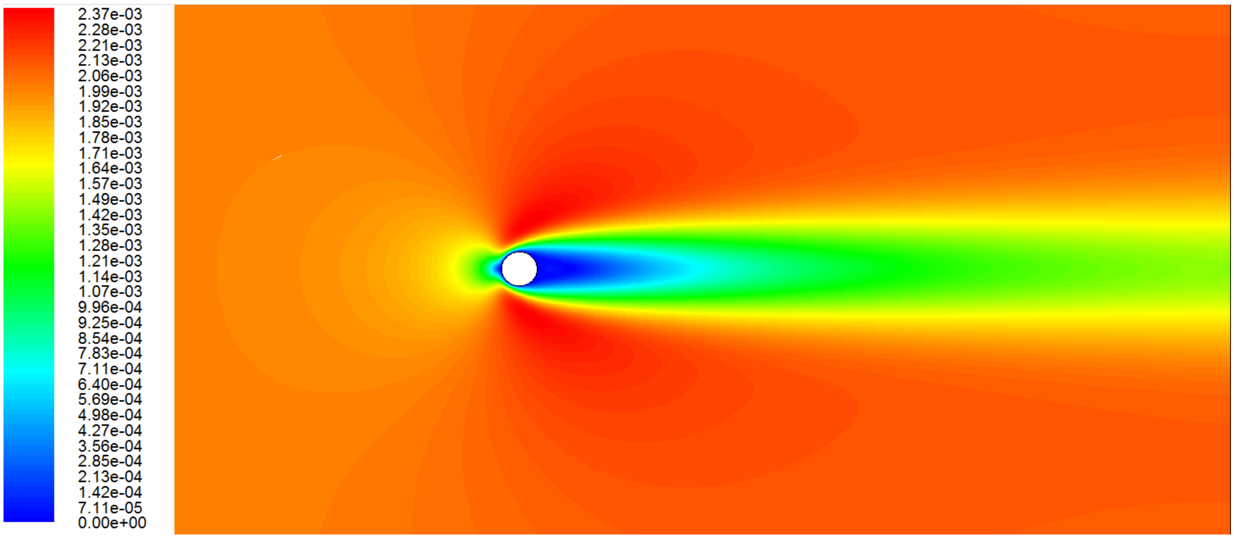
Chapitre IV : Résultats et Discussions

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des simulations numériques obtenus par le code de calcul utilisé. Plusieurs simulations seront effectués pour étudier des paramètres d'intérêts comme la vitesse de circulation du fluide, les dimensions de l'obstacle circulaire, la forme de l'obstacle et enfin le fluide de circulation. Ces résultats seront présentés sous formes de contours, de profils et d'histogrammes.

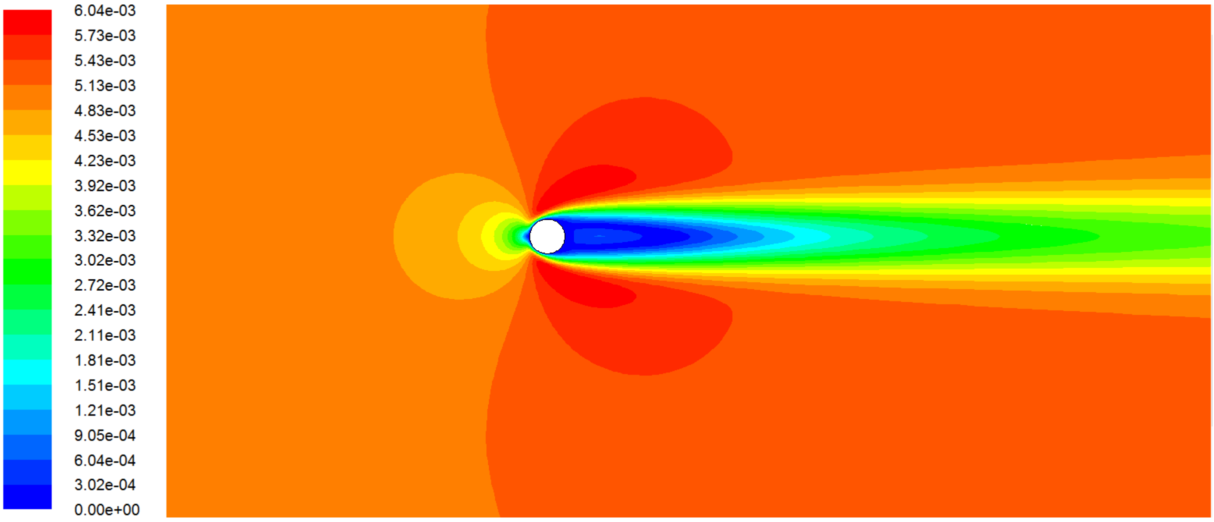
IV.1 Ecoulement autour d'un obstacle circulaire (cas de référence)

Dans cette partie, on s'intéresse à présenterles résultats de la simulation d'un écoulement d'eau autour d'un obstacle circulaire, c'est notre cas de référence. Pour cela, on varie la vitesse de circulation Vxde0.002m/s(Re=20)jusqu'à 0.012m/s (Re = 120) et on présente les résultats comme suit :

❖ **Le champ de vitesse**

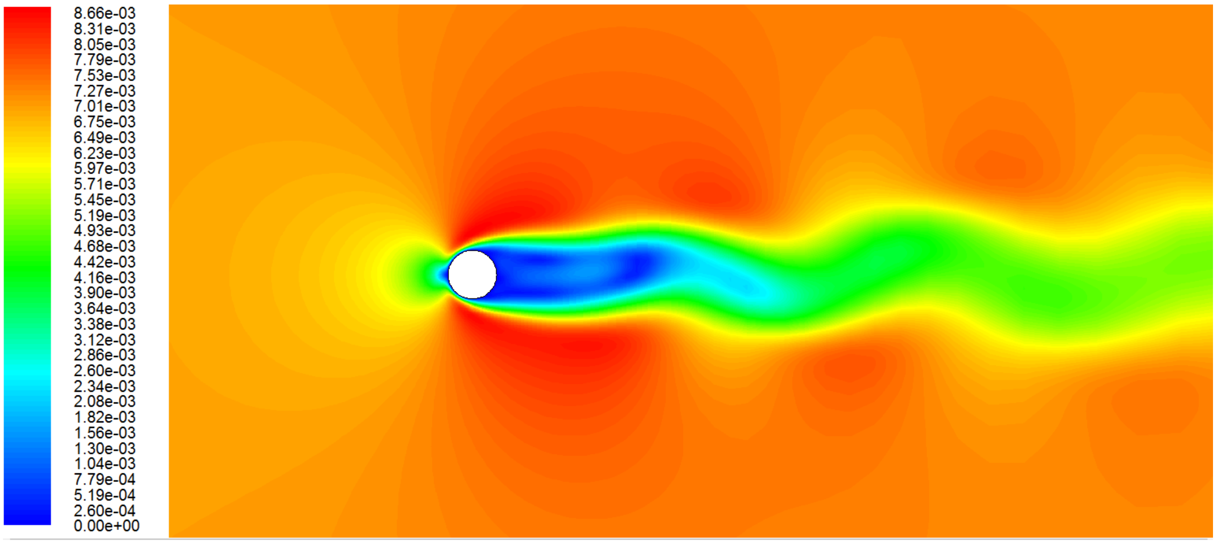


(a) Vx=0.002 m/s (Re=20)

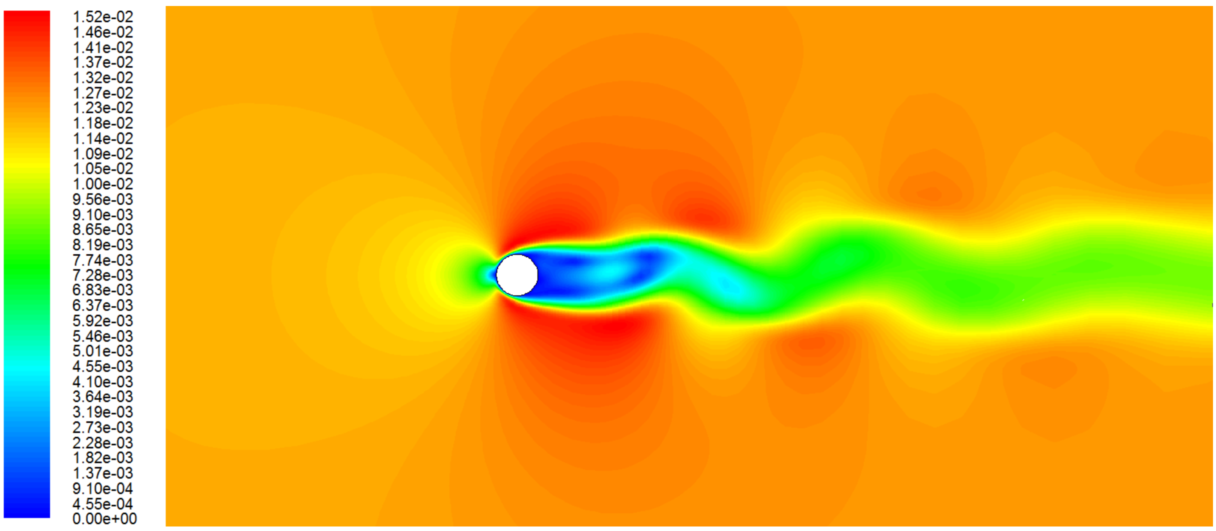


(b) Vx=0.005m/s (Re=50)

Figure IV.1: Contours du champ de vitesse pour : (a)Re=20 et (b) Re=50



(a) Vx=0.007 m/s (Re=70)

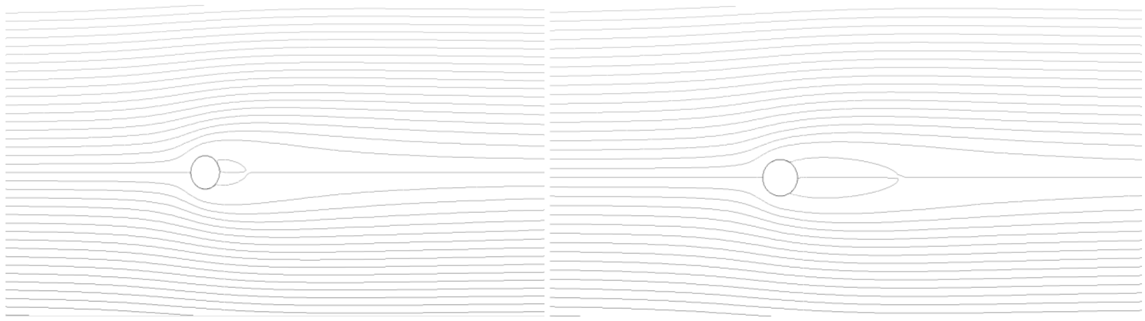


b)Vx = 0.012 m/s (Re = 120)

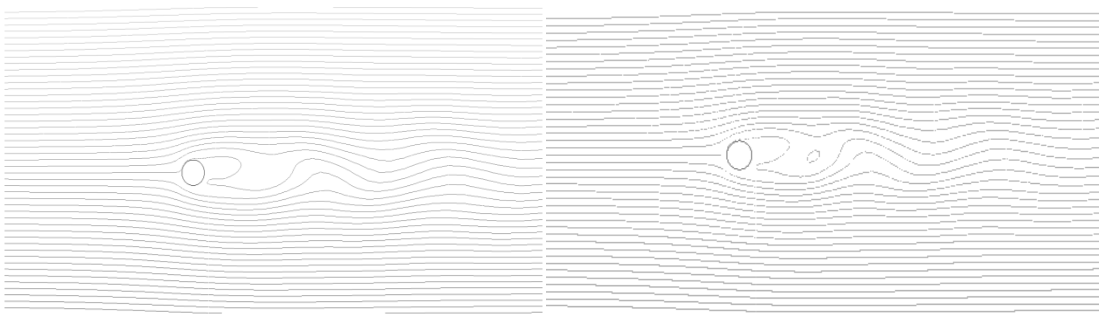
Figure IV.2: Contours du champ de la vitesseinstantanée enregistrés à t=600s pour :
(a) Re =70 et (b) Re =120

Lafigure IV.1représente les champs de vitesse obtenus pourRe=20 et Re=50, ou on remarqueque l'écoulement est parfaitement stable et aucun phénomène instationnairen'est visible. Par contre, les résultats obtenus pour Re=70et Re=120 représentés sur la figure IV.2montrent qu'une instabilité se manifeste et l'écoulement devient instationnaire.

- **Les lignes de courant**



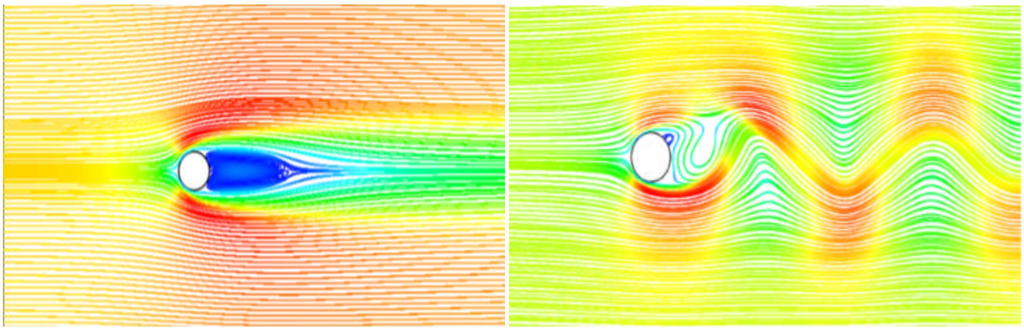
(a) Vx=0.002 m/s (Re=20)(b) Vx=0.005 m/s(Re=50)



(c) Vx=0.007m/s (Re=70)(d)Vx=0.012m/s (Re=120)

Figure IV.3 : Les lignes de courant enregistrés pour : (a) Re=20 et (b)Re=50 etpour : (c) Re=70 et (d) Re=120à t = 600 s

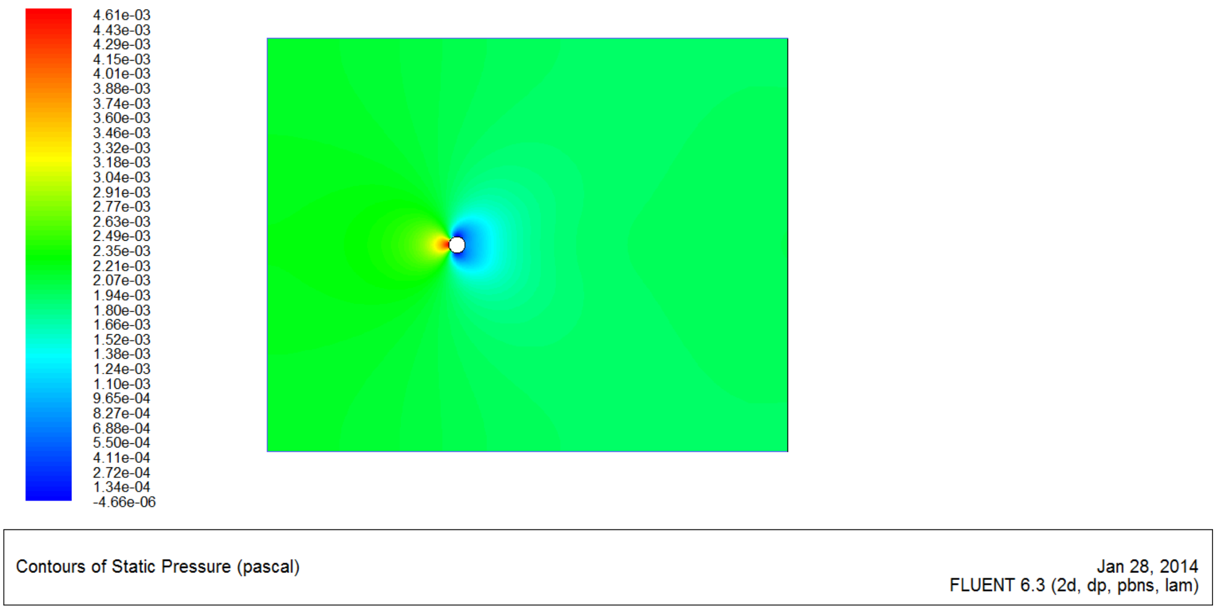
Les figuresIV.3 (a) etIV.3 (b)montrentque les lignes de courant sont uniformes, ou deux lobes presque symétriques se forment derrière l'obstacle et s'éloignent du cylindre en augmentant la vitesse de circulation. De plus, on remarque que lorsqu'en augmente le nombre de Reynolds, le point de détachement s'éloigne de l'obstacle.Tandis que les figures IV.3 (c) et IV.3 (d),montrent des phénomènes transitoires et un sillage instationnaire qui se forme derrière le cylindre.Ces résultats sont en accords avec ceux de la Réf [23], comme le montre les contours présentés sur la figure IV.3



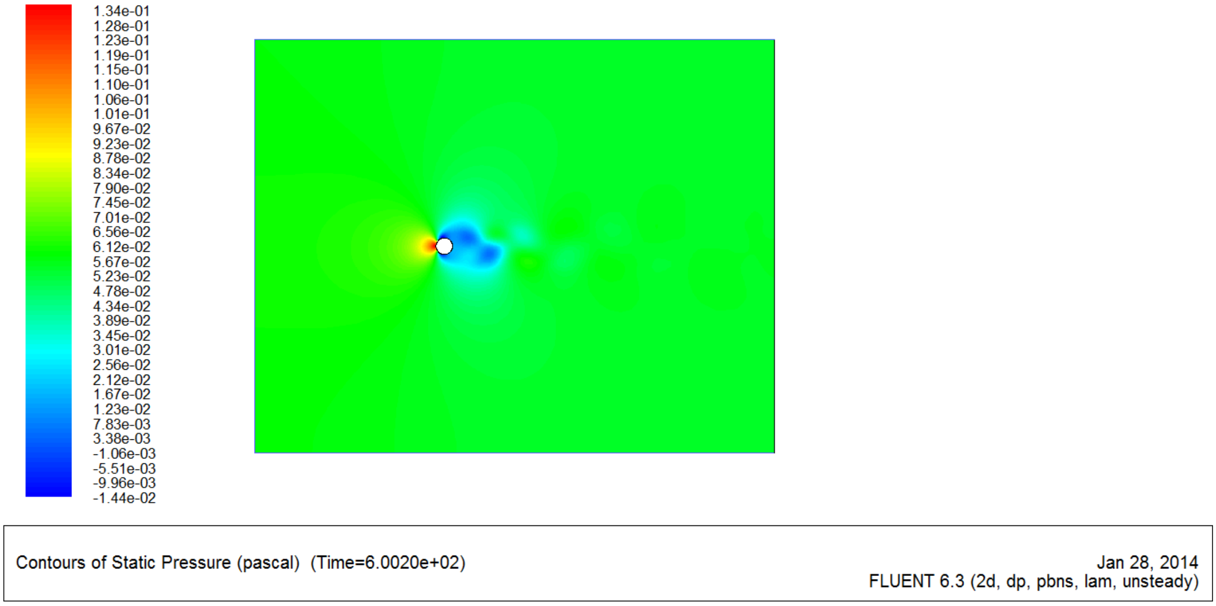
(a) Re = 50 (b) Re = 120

Figure IV.3 :Modèles d'un écoulement autour d'un obstacle circulaire [23]

❖ Le champ de pression



(a) Vx =0.002m/s (Re=20)



(b) Vx =0.012m/s (Re=120)

Figure IV.4 : Contours instantanés du champ de pression pour : (a) Re=20 et (b) Re=120prise àt = 600 s

La figureIV.4 (a)du champ de pression statique prise pour Re = 20 montre une suppression en amont de l'obstacle et une dépression en aval de ce dernier.Lorsque l'écoulement devient instationnaire àRe=120 figure IV.4(b),le champ instantané pris au temps de simulationt =600s montre quela zone de dépressionsemble plus importante que celle de l'écoulementstationnaire.

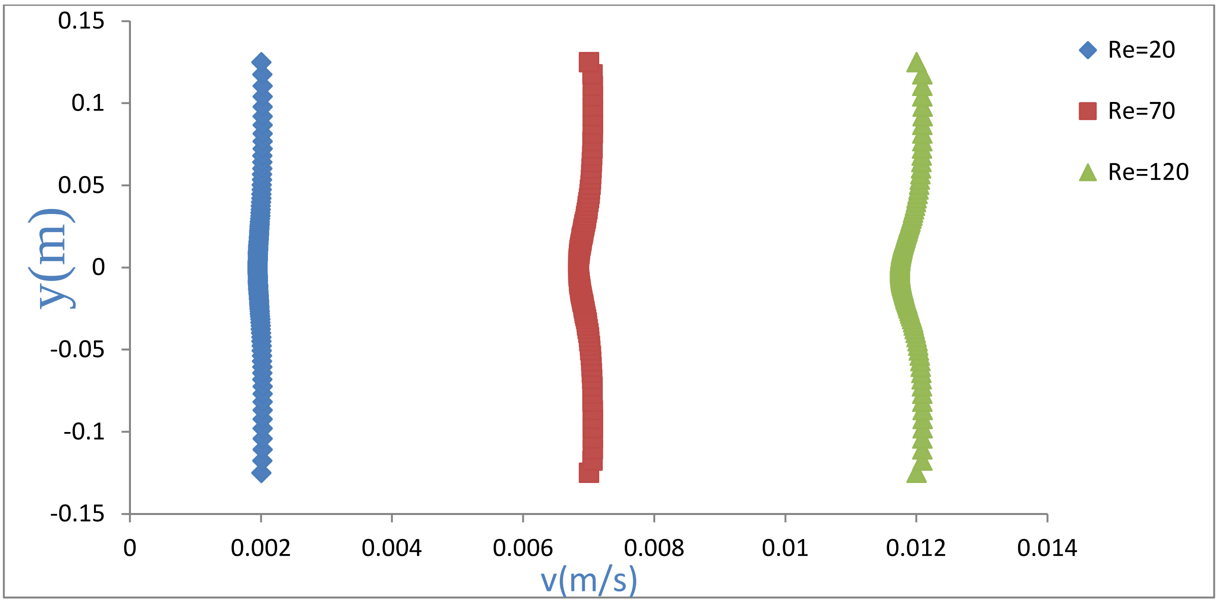
❖ Lesprofils de vitesse

Pour mieux étudier le comportement du fluide à différentes vitesses de circulation, nous traçonsles profils de vitesserelative en amont, au niveau et en aval de l'obstacle ; les coordonnées de ces linges sont les suivantes :

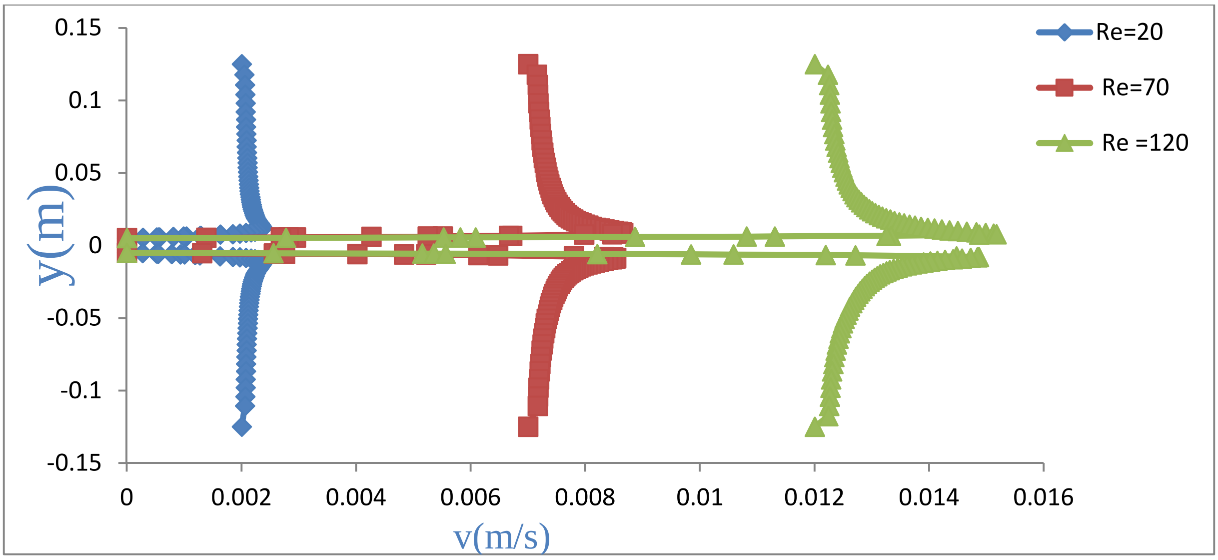
a) Ligne en amont de l'obstacle : x= -0.05 m et -0.125m≤ y ≤ 0.125m

b) Ligne au niveau de l'obstacle : x=0 m et -0.125m≤ y ≤0.125m

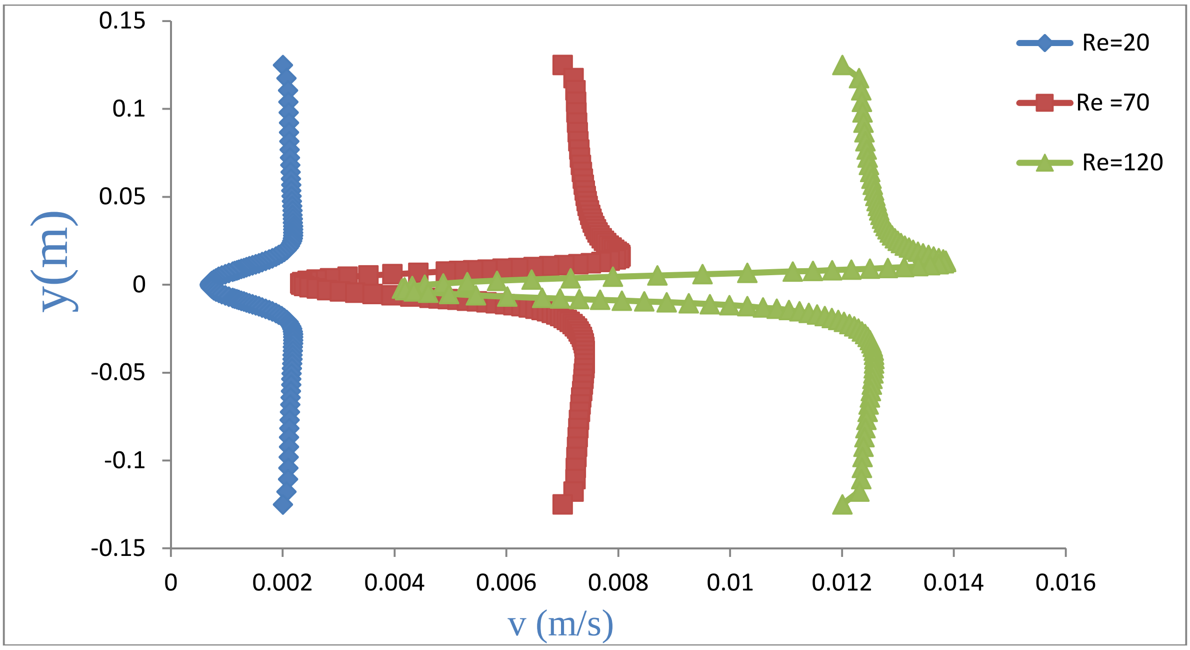
c) Ligne en aval l'obstacle : x=0.05 m et -0.125m ≤ y ≤ 0.125m



(a) En amont de l'obstacle



(b) Au niveau de l'obstacle



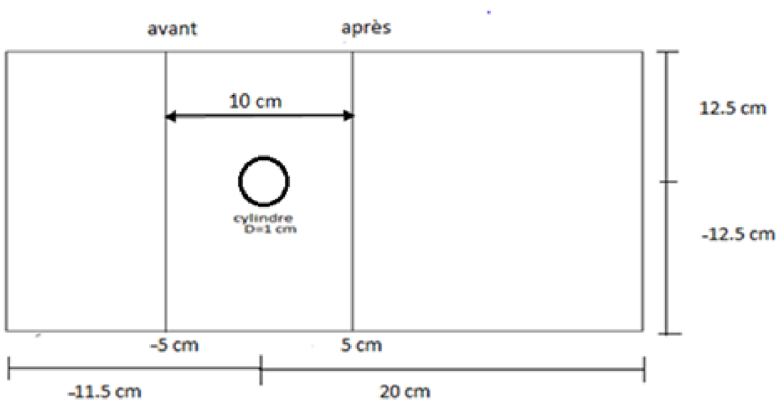
(c) En aval de l'obstacle

Figure IV.5 : Profils de la vitesse axiale : (a) en amont, (b) au niveau,(c) en aval de l'obstacle

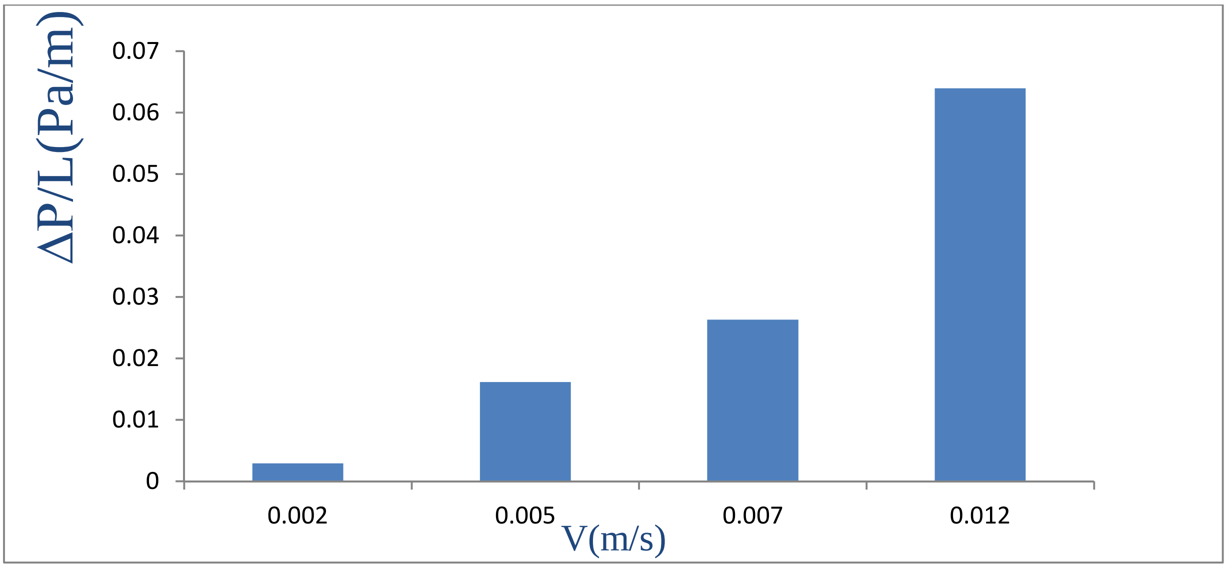
On peut constater sur les figures IV.5 a, b et cque l'augmentation de la vitesse de circulation affecte de manière significative les profils des vitesses, en amont, sur la ligne passant par l'obstacle et à son aval. La variation de la vitesse locale a tendance à augmenter, en augmentant la vitesse de circulation du fluide.

- **Déperdition par unité de longueur**

Pour estimer la déperdition hydraulique, on calcul la différence de pression statique moyenne enregistrée entre deux lignes tracées en amont et en aval de l'obstacle comme le montre la figure IV.6 ci-dessous.



FigureIV.6 :Les lignes tracées en amont et en aval de l'obstacle



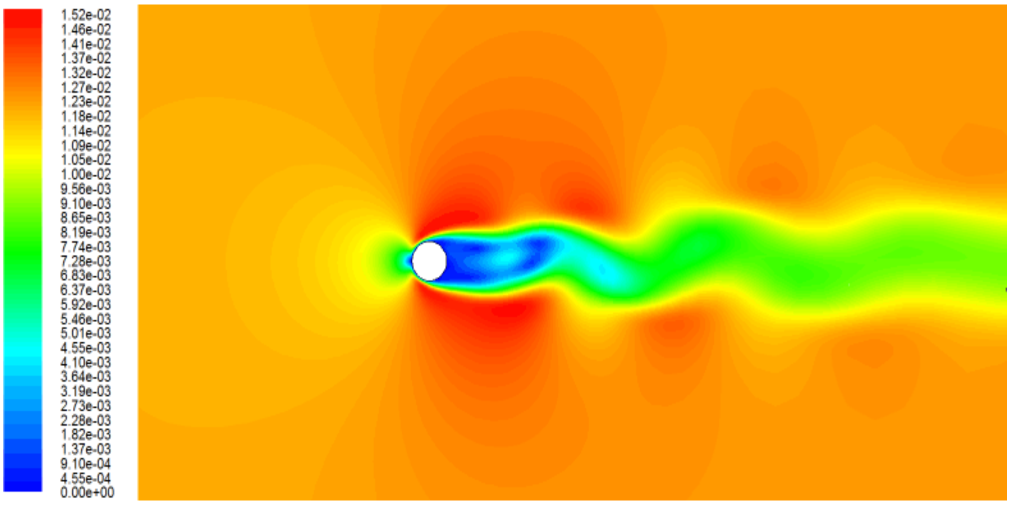
00FigureIV.7 :La dépression par unité de langueur en fonction de la vitessede circulation du fluide

La figure IV.7montre un histogramme de la dépression par unité de longueur en fonction de la vitesse de circulation du fluide, ou on remarque que l'augmentation de la vitesse de circulation provoque une dépression plus importante qui s'accentue en augmentant le Reynolds de circulation.Ces résultat concorde avec les conclusions de l'étude d'un ouvrage (Raids Aventure) 2012 page 281 qui parle de la dépression.

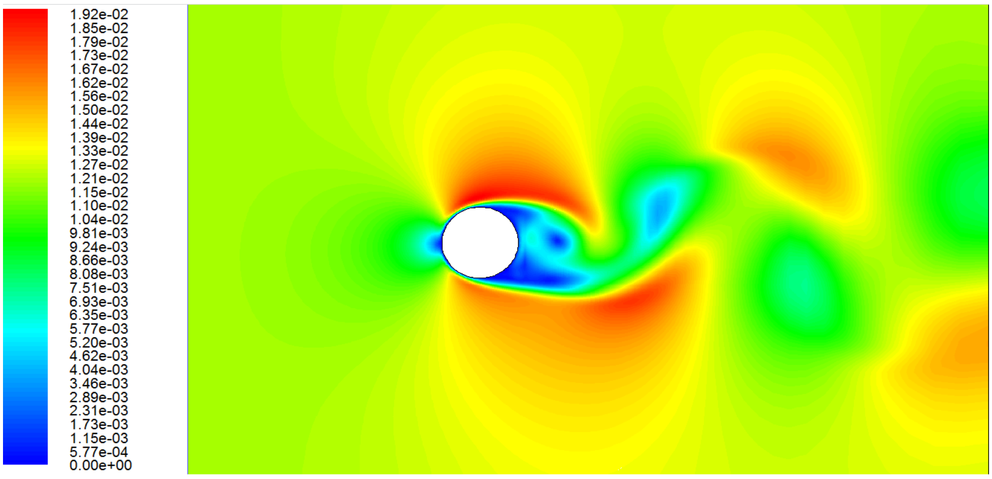
IV.2Etude de l'effet du changement du diamètre de l'obstacle sur le comportement du fluide

Dans cette partie on va étudier le comportement de l'écoulement d'une eau autour d'un obstacle circulaire de diamètre différent (1cm≤ D ≤5cm). Pour cela on fixe la vitesse de circulation à Vx=0.012m/s, et on expose les résultats des simulations comme suit :

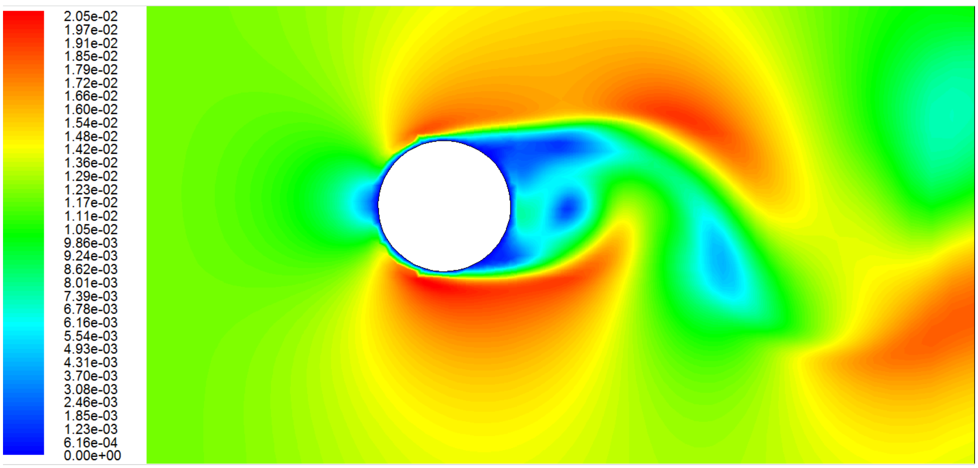
- **Le champ de vitesse**



(a) D=1cm



(b) D=3cm



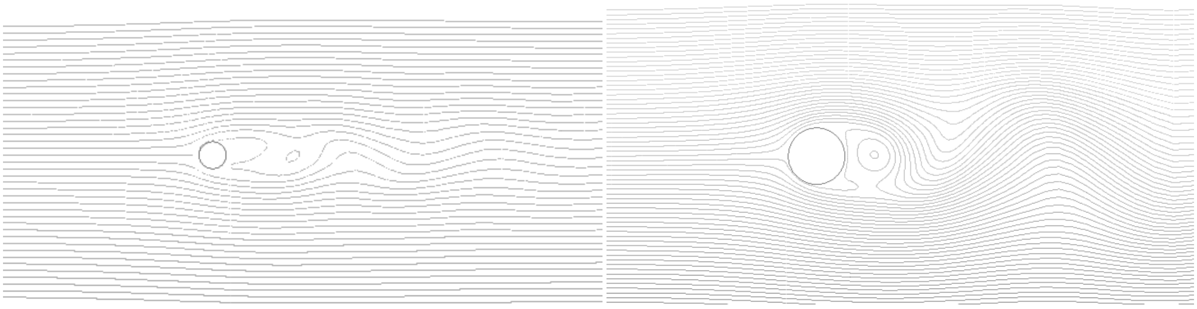
(c) D=5cm

FigureIV.8 :Contours instantanésdu champ de vitessepour un cylindre de diamètre :

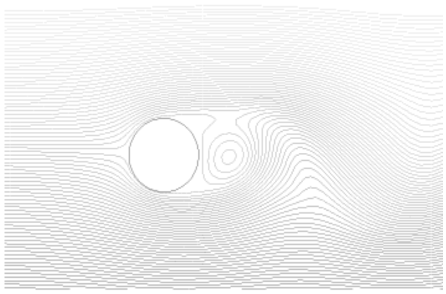
(a) D = 1 cm, (d) D = 3 cm, (c) D = 5 cm

On remarque sur les figuresIV.8 a, b et cque lorsque on augmente le diamètre de l'obstacle, la déstabilisation de l'écoulement s'accentue,ou le sillage qui se forme derrière l'obstacle s'entend dans les directions x et y du domaine fluide.

- **Les lignes de courants**



a) D=1cm b) D=3cm



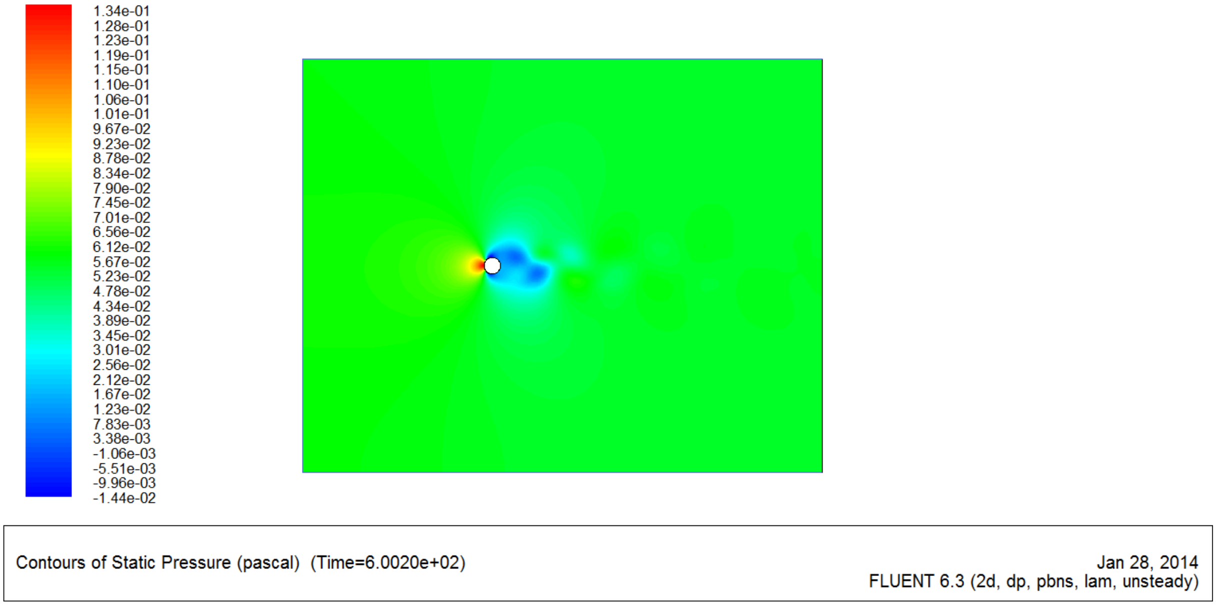
c)D=5cm

Figure IV.9 :Lignesde courants instantanéespour le cylindre de diamètre :

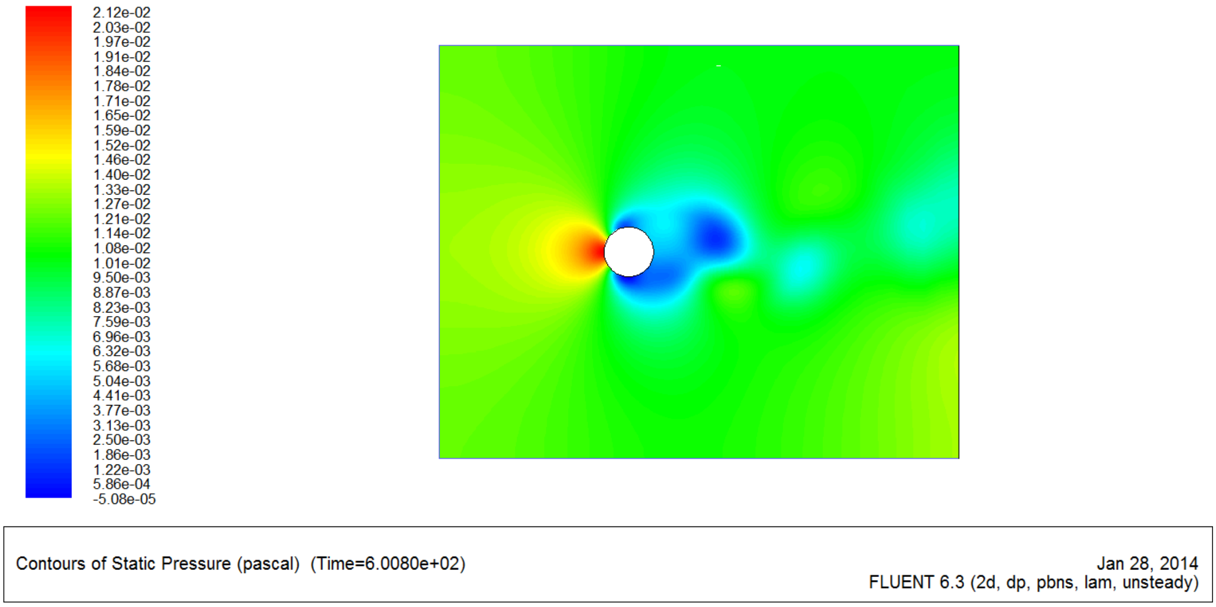
(a) D = 1 cm, (d) D = 3 cm, (c) D = 5 cm

Les figures IV.9a, b, et c montrent que plus on augmente le diamètre de l'obstacle, plus la zone de recirculation qui se forme derrière l'obstacle augmente.

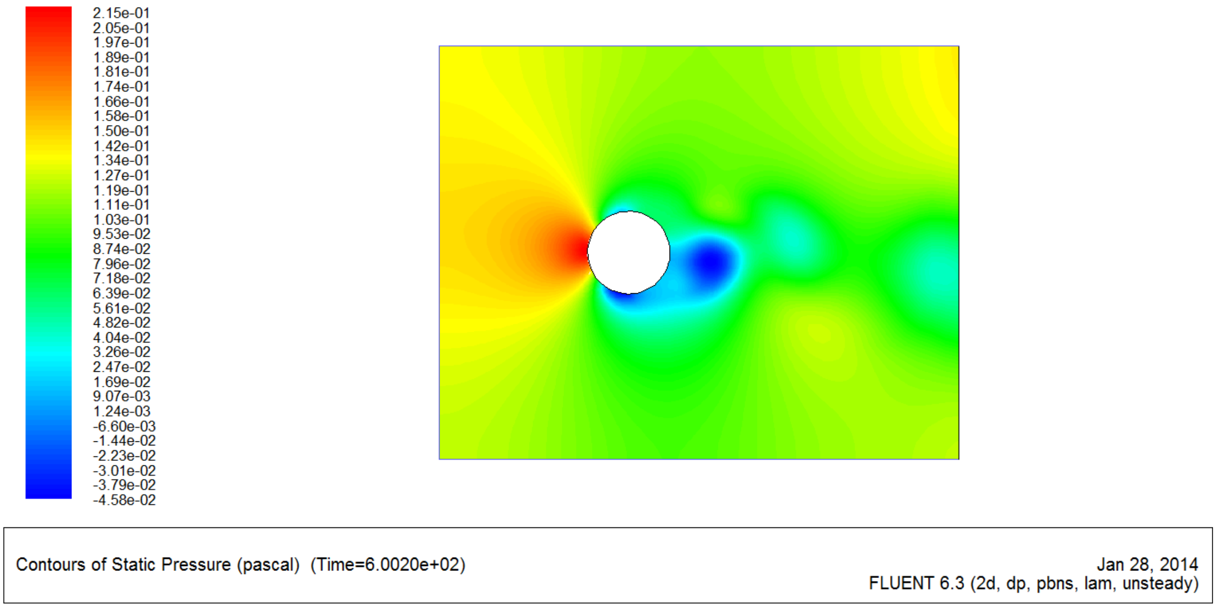
❖ Le champ de pression



(a) D=1cm



(b) D= 3cm



(c) D= 5cm

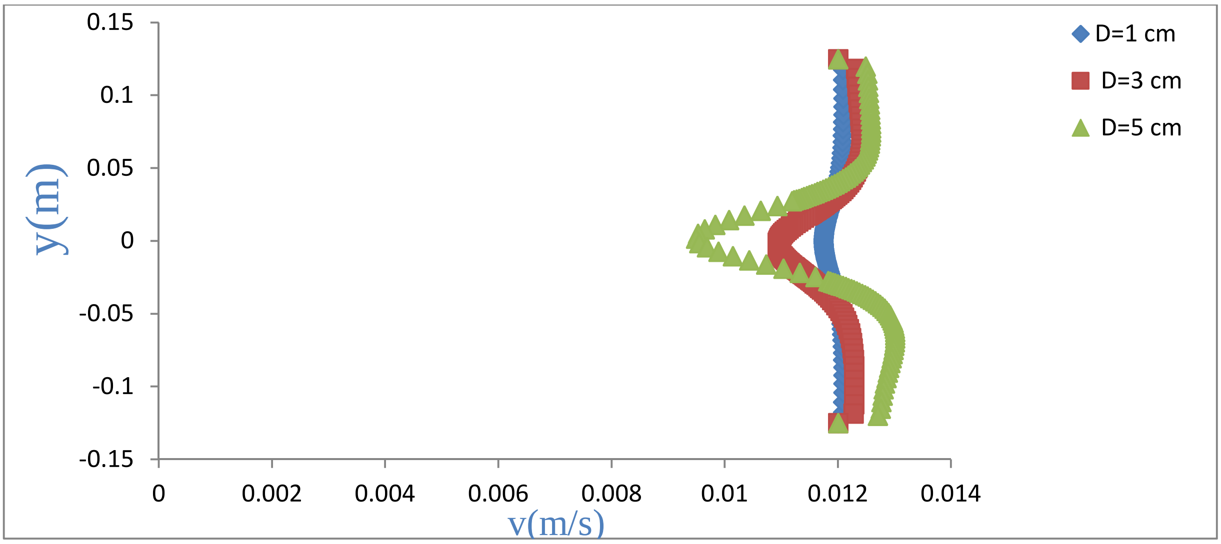
FigureIV.10 : Contoursdu champ de pression pour un cylindre de diamètres :

(a) D = 1 cm, (b) D = 3 cm, (c) D = 5 cm

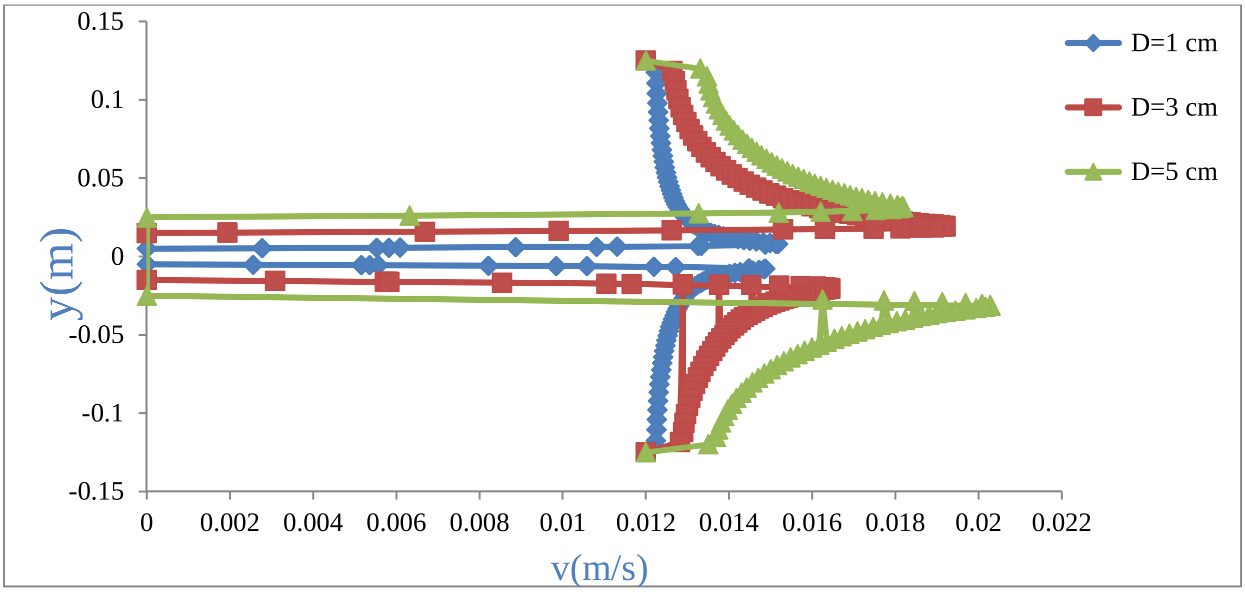
Lafigure IV.10montre l’évolution du champ de pression statique instantané enregistré à t=600s, ou on constate que lorsque on augmente le diamètre de l’obstacle, deszones de surpression(couleur rouge), et de faible pression (couleur bleu) s’étendent en amont et en aval de l’obstacle.

❖ **Les profils devitesse**

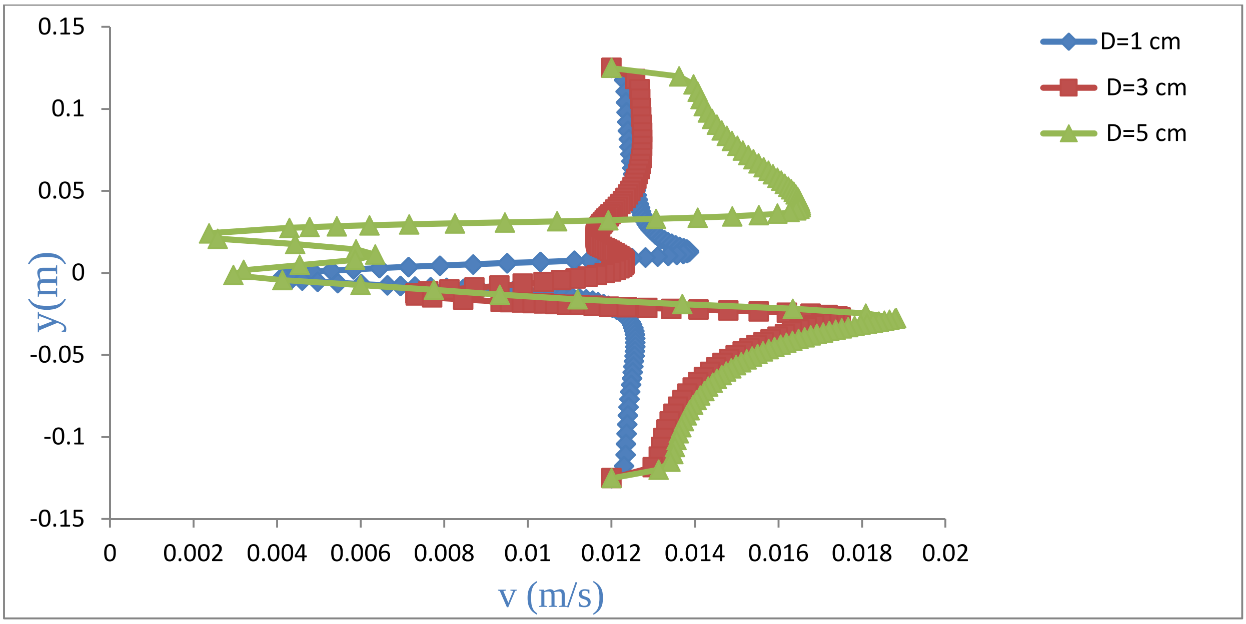
Nous traçons les différents profils de vitesserelative, obtenus en amont au niveau de l'obstacle et en aval comme précédemment.



(a) en amont de l'obstacle



(b) au niveau del'obstacle



(c) en aval de l'obstacle.

FigureIV.11 : Profils de la vitesse axiale : (a) en amont,(b) au niveau, et (c) en aval de l'obstacle

Les figures IV.11 a, b et c montrent que les profils instantanés de la vitesse sont affectés de manière significative par le changement du diamètre de l'obstacle et cela en amont, au niveau et en aval de l'obstacle. La disparité entre les valeurs locales des vitesses augmente avec l'augmentation du diamètre de l'obstacle.

❖ **La dépression par unité de longueur**

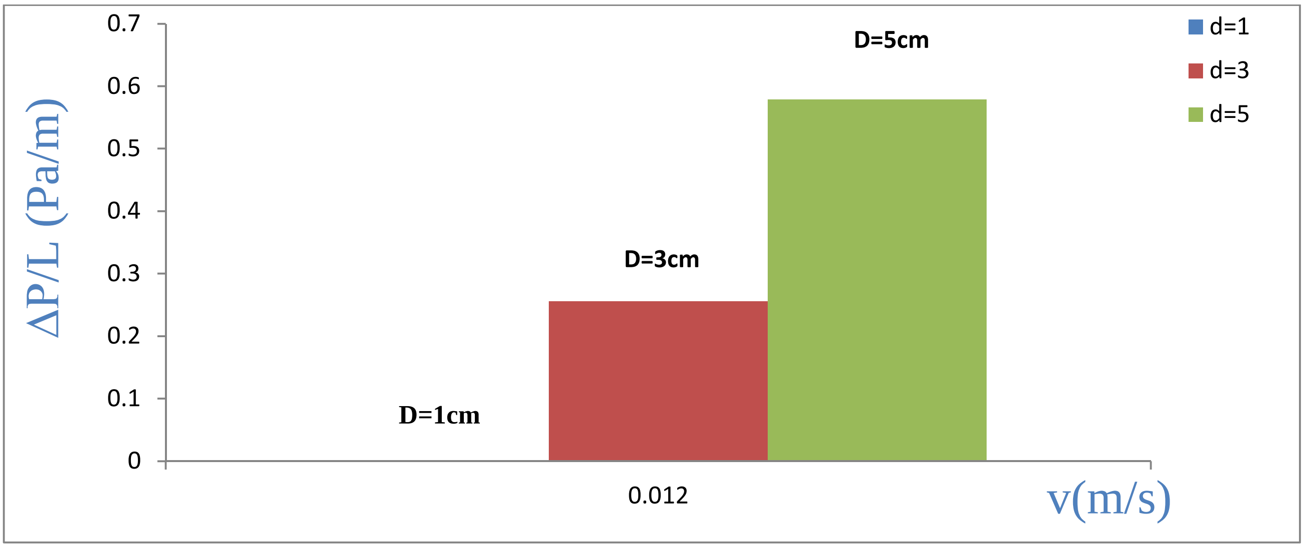


Figure IV.12 : La dépression par unité de longueur en fonction du diamètre de l'obstacle

La figure IV.12 nous permet de remarquer que la dépression par unité de longueur augmente avec l'augmentation du diamètre de l'obstacle. Ce résultat est logique car l'augmentation de la surface de contacte due à l'augmentation du diamètre de l'obstacle fait augmenter les frictions et par conséquent, les pertes hydrauliques augmentent.

IV.3Etude de l'effet du changement de la géométrie de l'obstacle sur le comportement du fluide

Dans cette partie on va étudier le comportement de l'écoulement autour des géométries présentées sur la figure IV.13. Durant nos simulation, on fixe la vitesse d'entré àVx =0.012 m/s (Re=120) et on expose les résultats sous forme de contours et de profils.

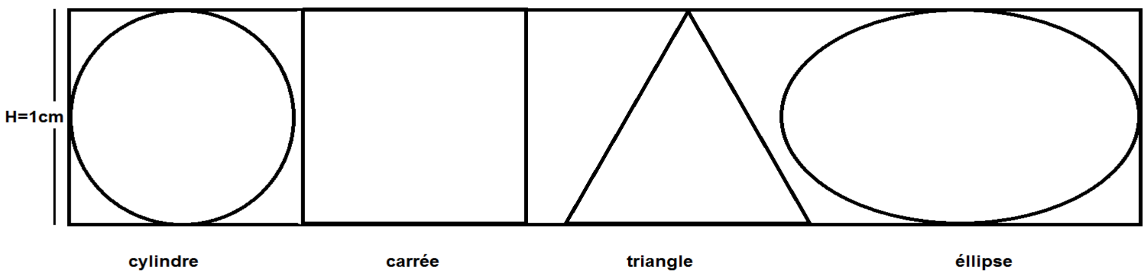
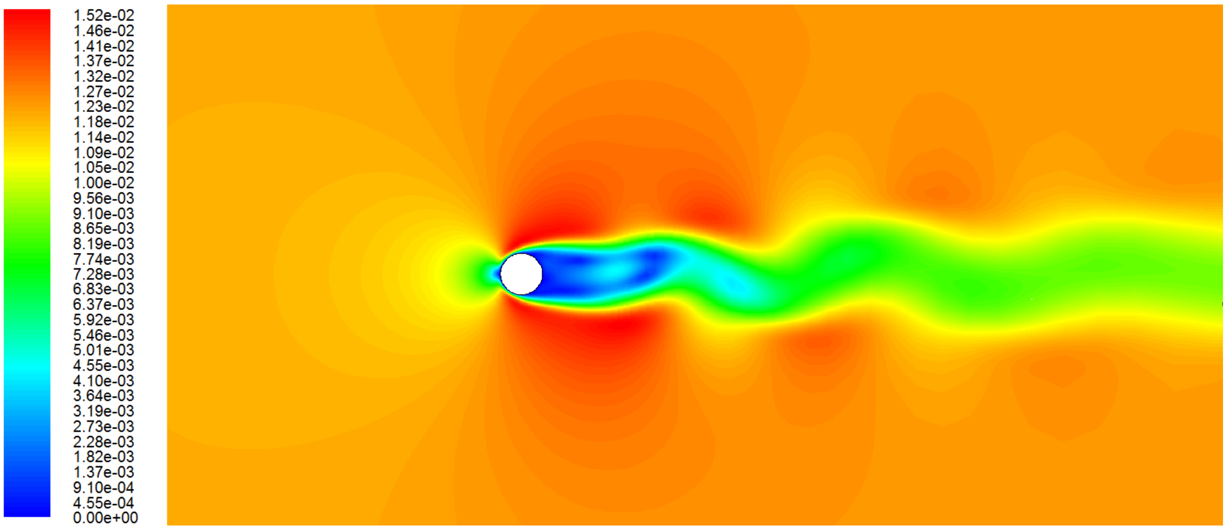
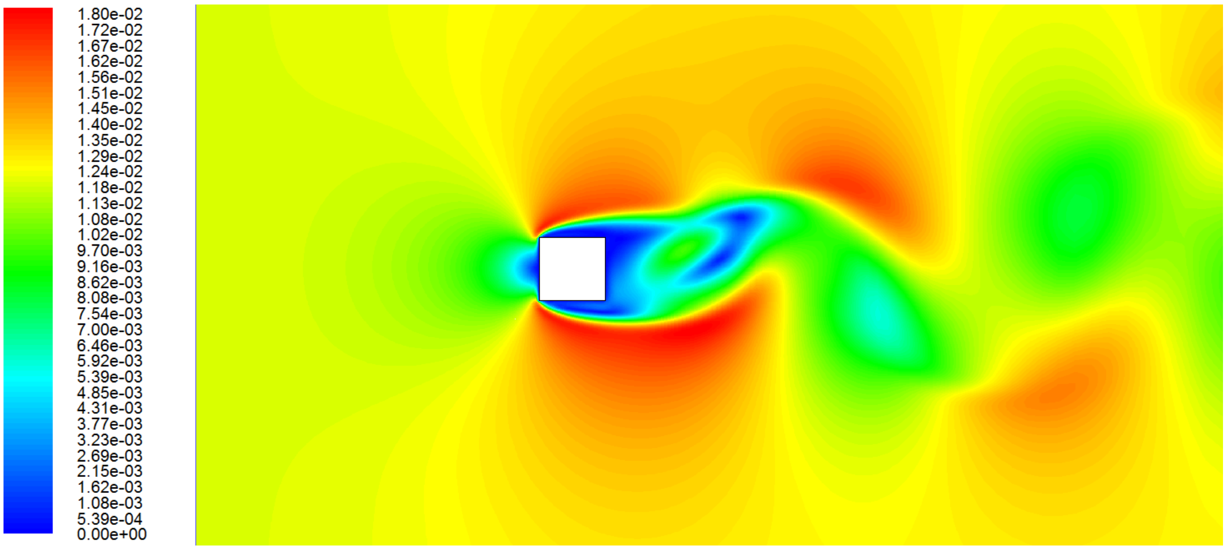


Figure IV.13 : Les différentes géométries de l'obstacle

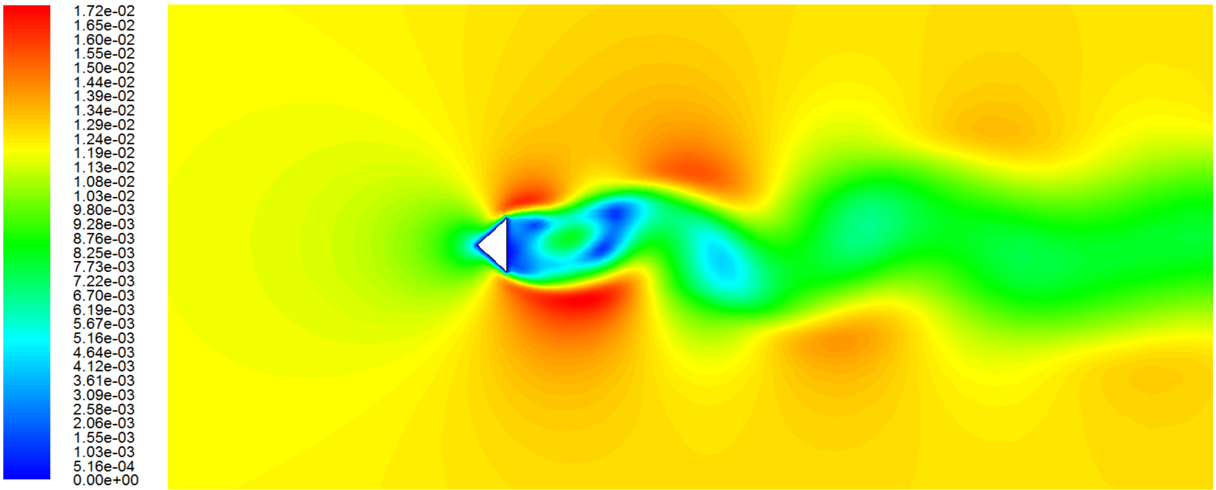
- **Le champ de vitesse**



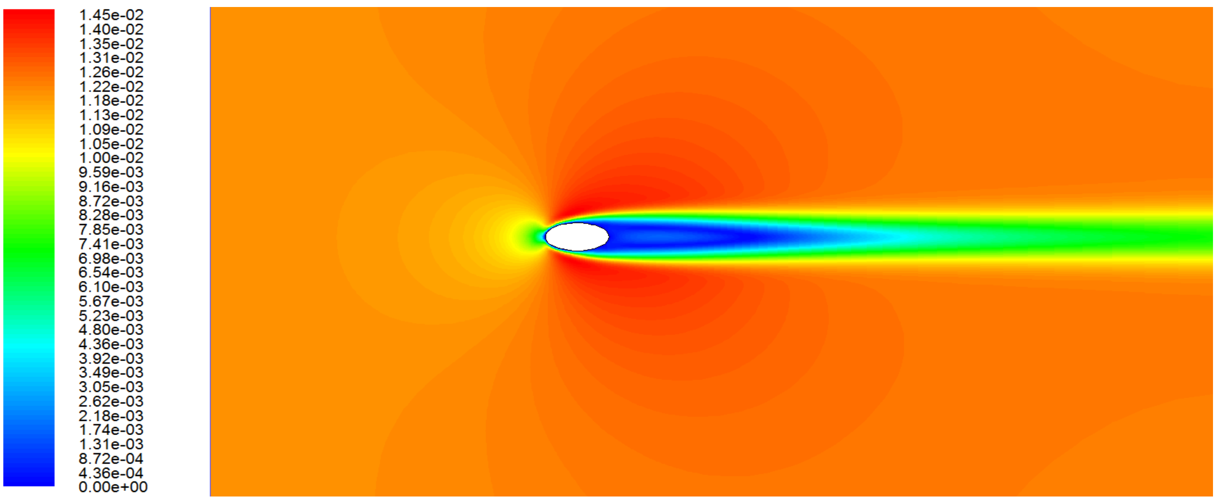
a) Cylindre



b) Carré



c) Triangle

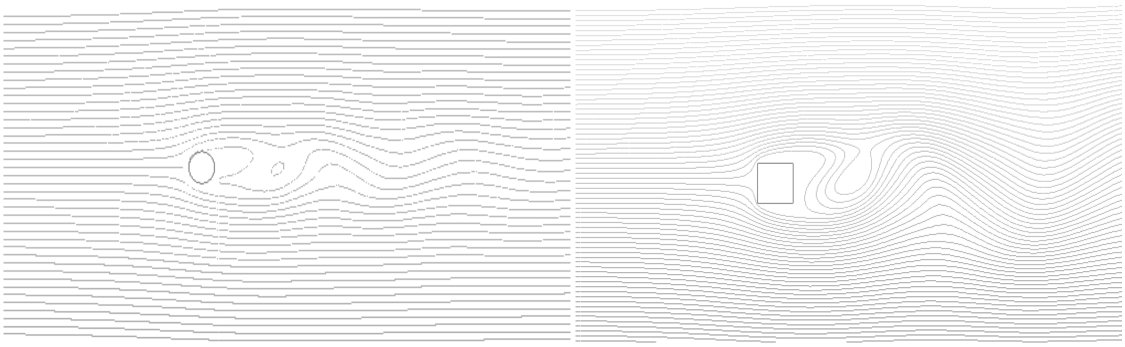


d) Ellipse

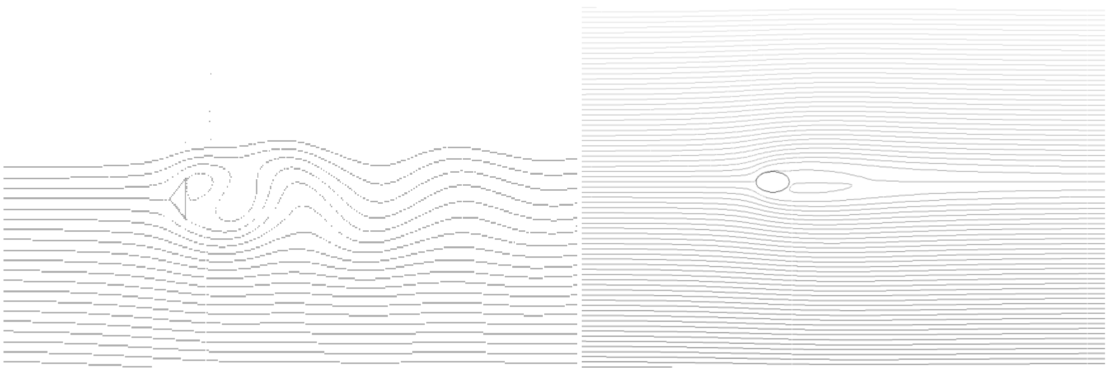
Figure IV.14 :Contours du champ de vitesse instantanés enregistrés à t = 600s, à Re=120et pour les différentes géométries

La figure IV.14 montre que l'écoulement reste stationnaire pour le cas d'un obstacle elliptique tandis qu'il devient instationnaire pour les autres cas (cylindre, carré, triangle).

❖ **Les lignes de courant**



a) Cylindreb) Carré

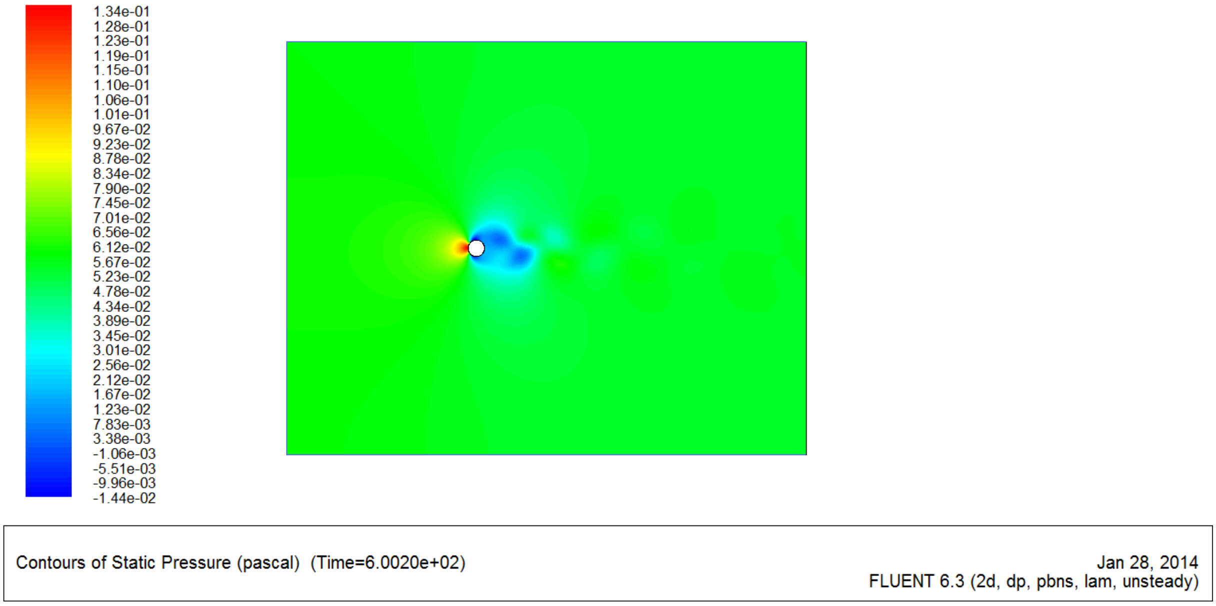


c) Triangled) Ellipse

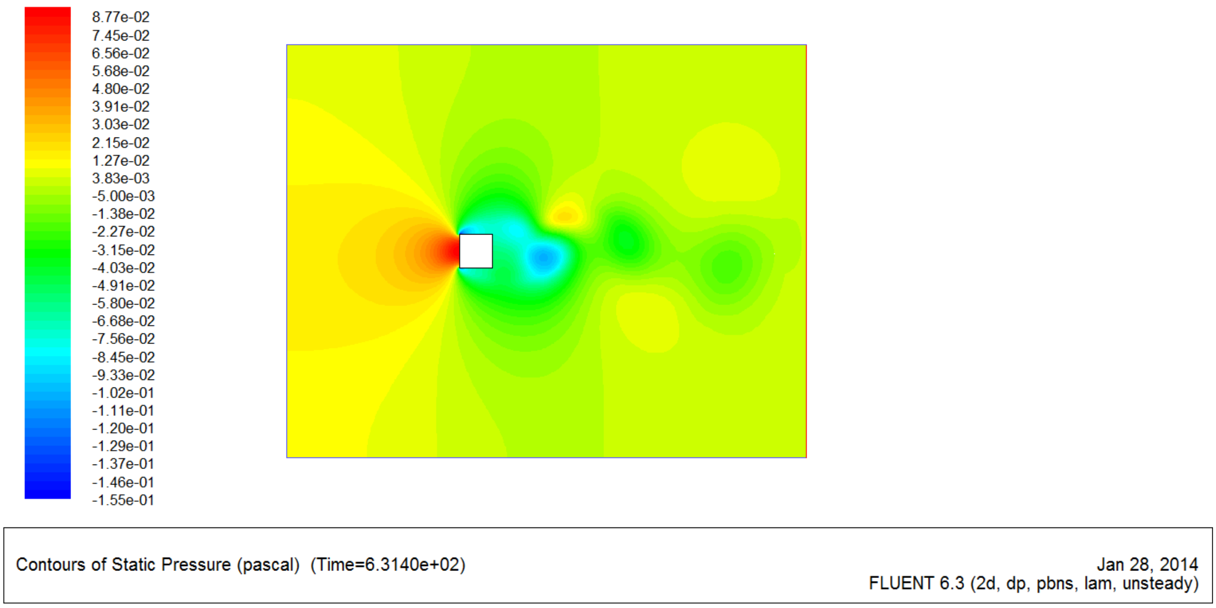
FigureIV.15 : Lignes de courant instantanées enregistrées à t = 600s pour une vitesse de circulation Vx=0.012m/s

Les lignes de courant instantanésprésentés sur la figure IV.15consolident les résultats montrés précédemment, ou l'écoulement se déstabilise dans le cas des obstacles cylindrique, carré et trianglefigure IV.15 (a, b, c),tandis qu'il reste stationnaire dans le cas de l'obstacle elliptique figureIV.15 (d).

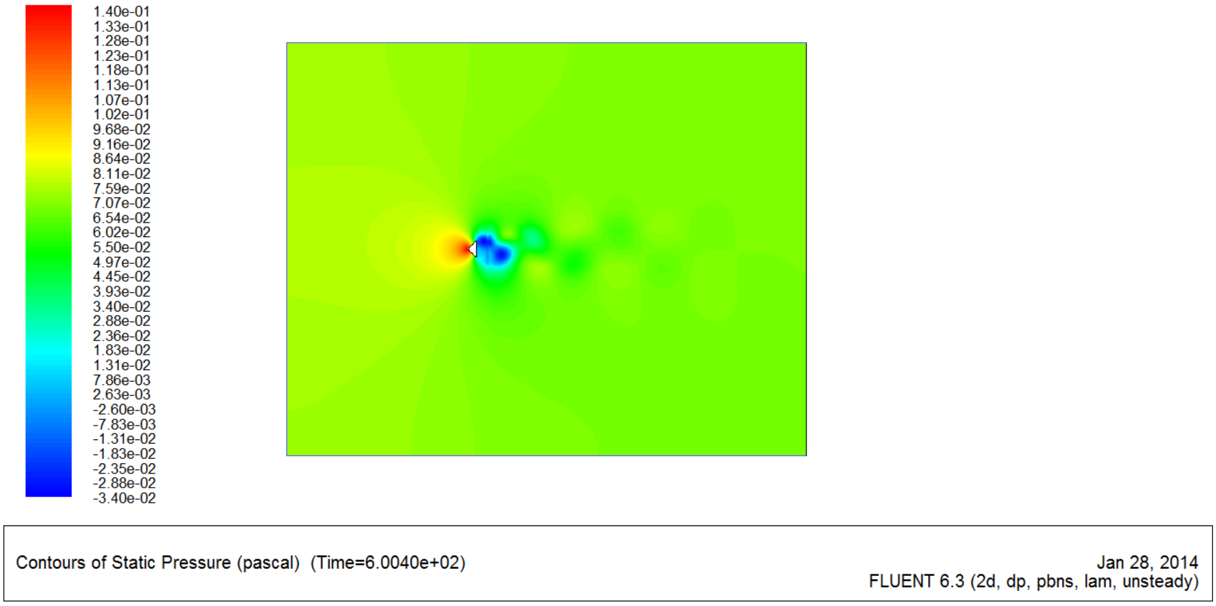
❖ Le champ de pression



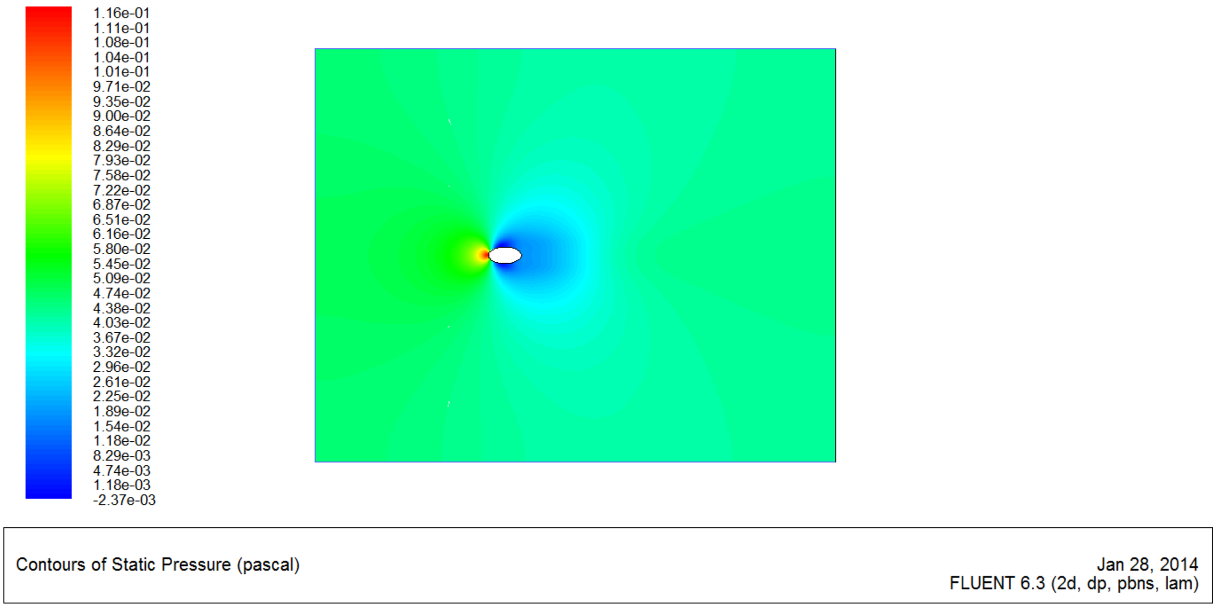
a) Cylindre



b) Carré



c) Triangle



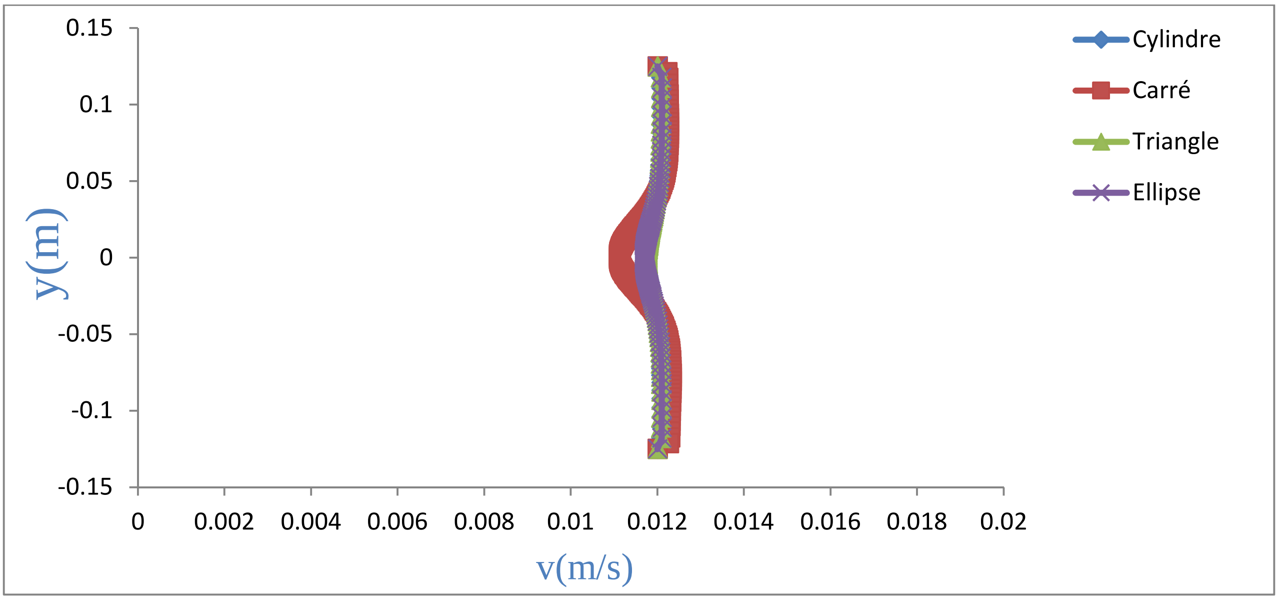
d) Ellipse

Figure IV.16 : Contours du champ de pressions instantanées à une vitesse de circulation

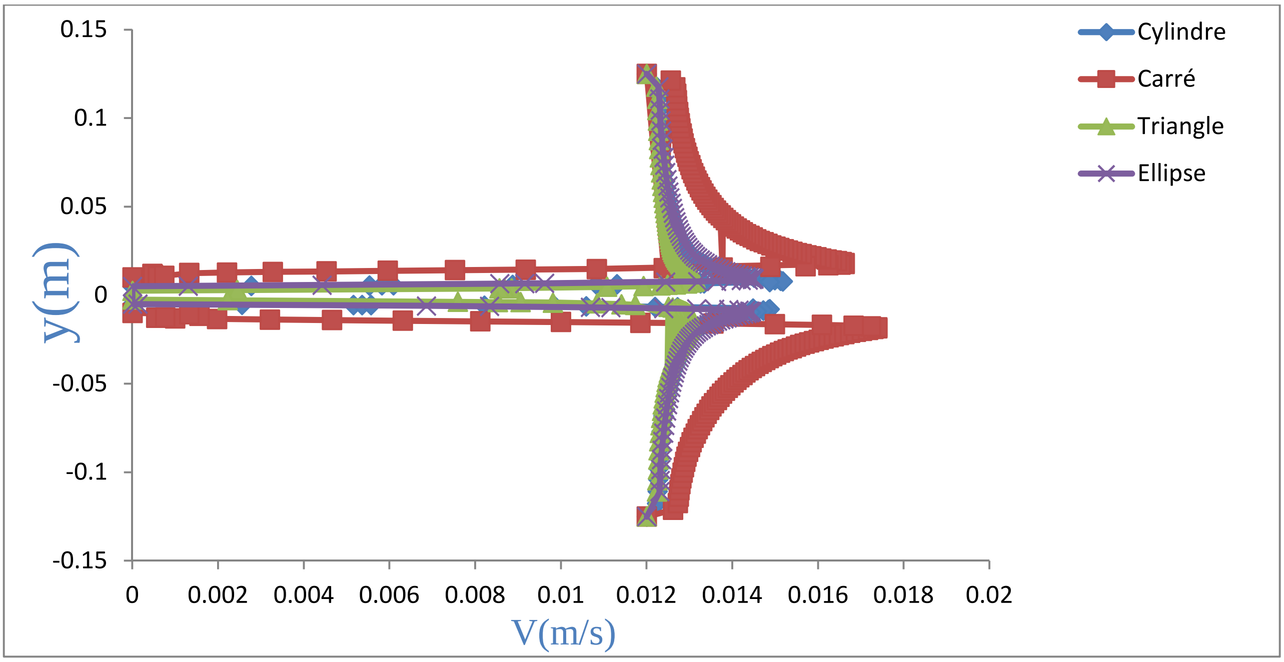
Vx=0.012m/s

On constate sur la figure IV.16 que la forme elliptique semble minimiser la suppression par rapport aux autres formes d'obstacles.

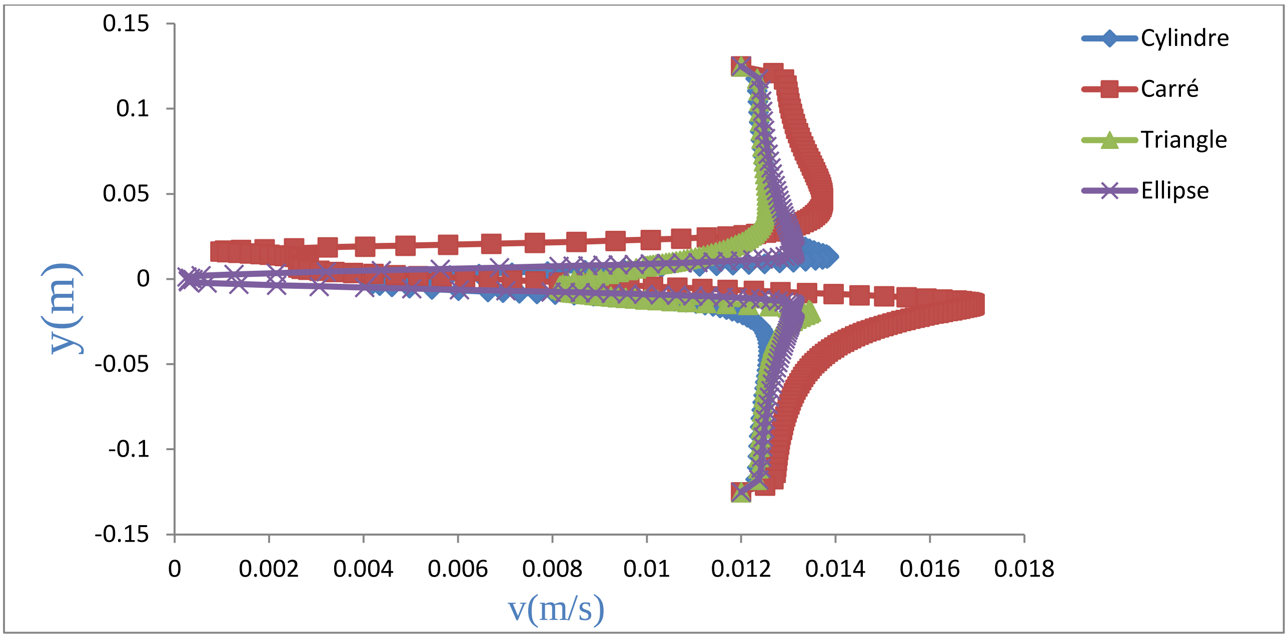
❖ **Les profils de vitesse**



(a) en amontdes obstacles



(b) au niveau desobstacles



(c) en aval des obstacles

Figure IV.17 : Profils de la vitesse axiale : (a) en amont, (b) au niveau, (c) en aval des obstacles à une vitesse de circulation Vx =0.012m/s

Sur la figureIV.17 (a) on peut constater que les profils devitesses sont presque identique en amont des obstacles sauf l'obstacle carré, et au niveau des obstacles figure IV.17(b) les profils de vitesse est très élevés au voisinage du l'obstacle carré par rapport à les autre obstacles. Le profil de vitesse en aval figure IV.17 (c) l'obstacle carré admet des pics plus importantes que les autres obstacles.

- **La dépression par unité de longueur**

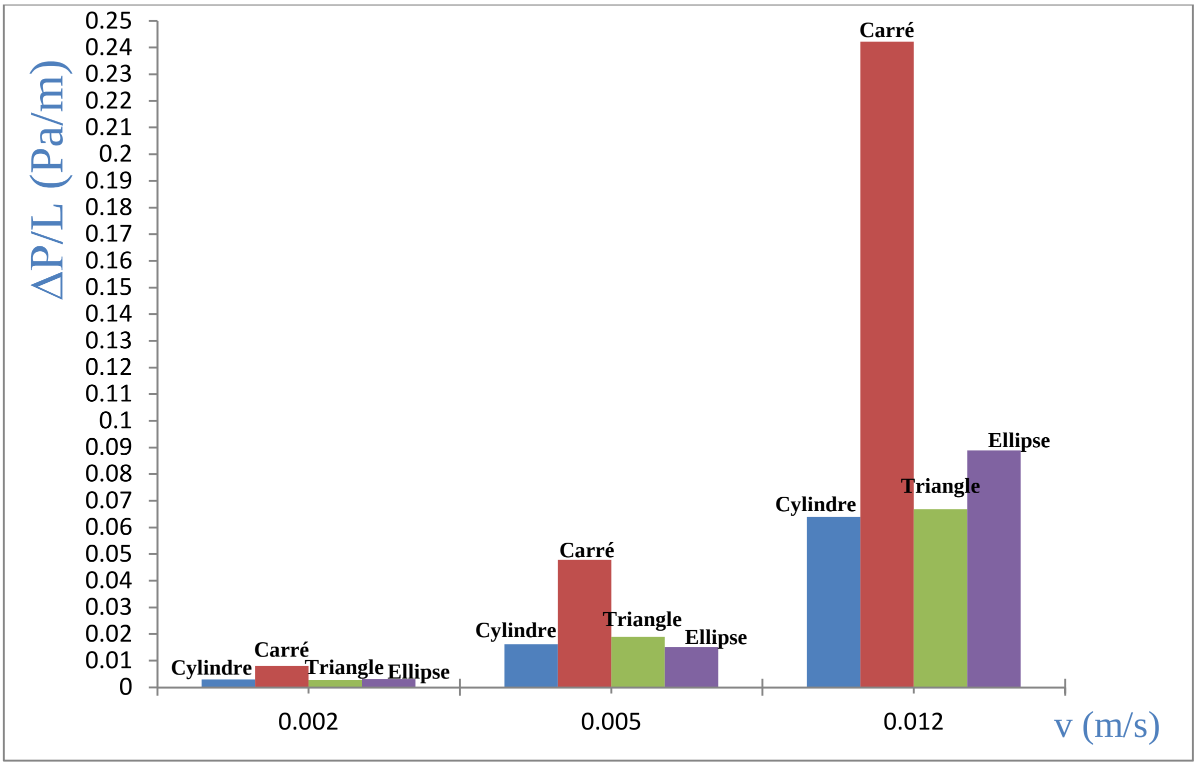


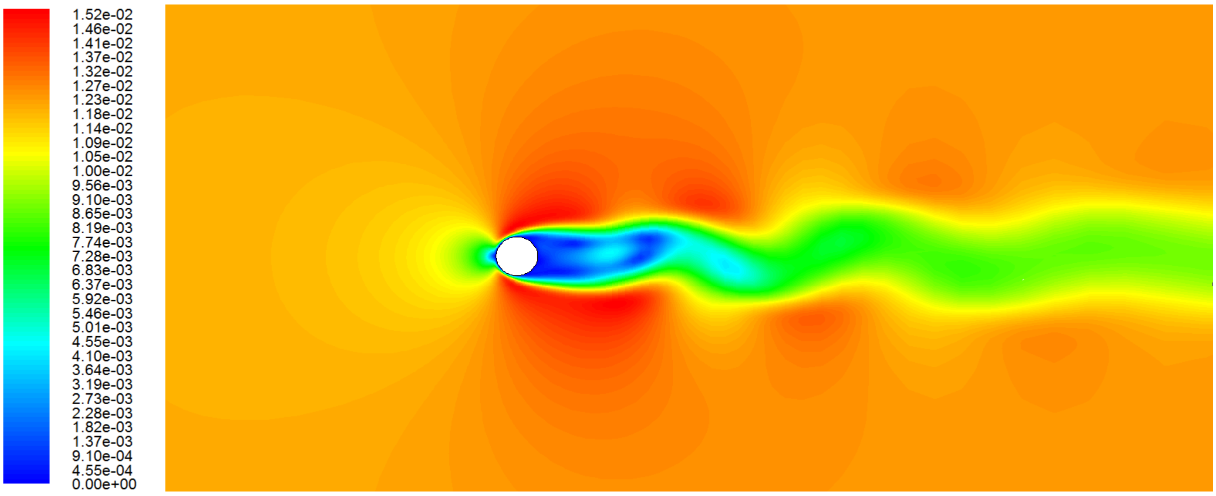
Figure IV.18 : Histogrammes de la dépression par unité de longueur en fonction de la vitesse de circulation du fluide pour les différents obstacles

La figure IV.18 nous permet de remarquer que la dépression par unité de longueur augmente lorsque la vitesse de circulationaugmente. Elle est maximale en présence de l'obstacle carré, et minimale pour les obstacles circulaire et elliptique.

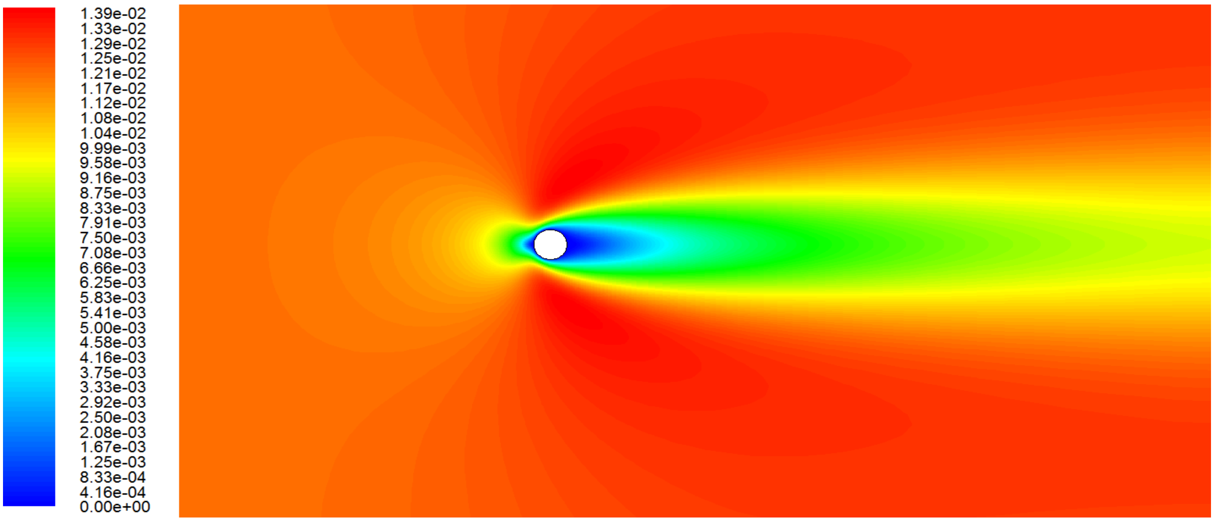
IV.4Etude de l'effet du changement du fluide de circulation sur le comportement de l'écoulement

Dans cette partie nous allons comparer le comportement de l'écoulement à des masses volumiques différentes (par exemple l'eau et l'air) en présence d'un obstacle circulaire de diamètre D = 1cm, et pour une vitesse de circulation constante (Vx = 0.012m/s).Il est à noter que l'air choisi a une masse volumique **ρ** = 1.225 kg/m^3, et une viscosité **μ** = 1.79 10^{-5}kg/m.s.

- **Le champ de vitesse**



a)EAU

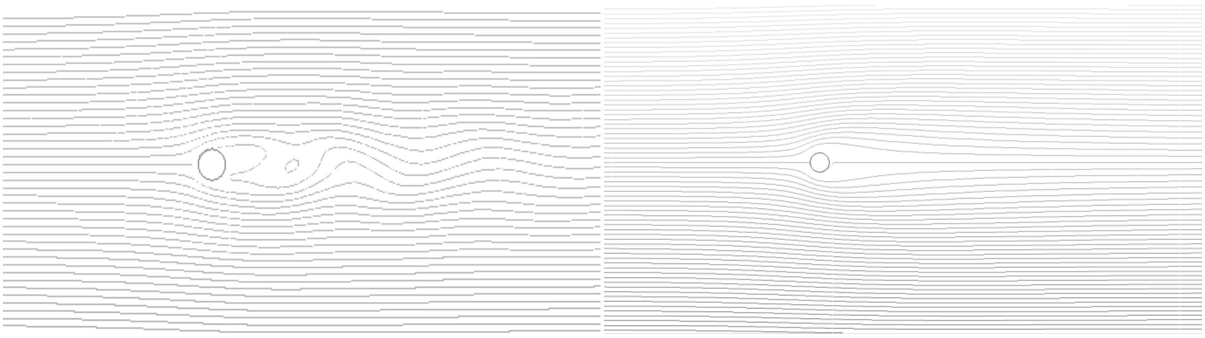


b) AIR

Figure IV.19 : Contours du champ de vitesse pour les fluides : (a) eau, (b) air àVx =0.012m/s

On constat sur la figureIV.19 que pour la même vitesse de circulation, l'écoulement de l'eau estinstationnaire, par contre celui del'air reste stationnaire.

- **Les lignes de courants**

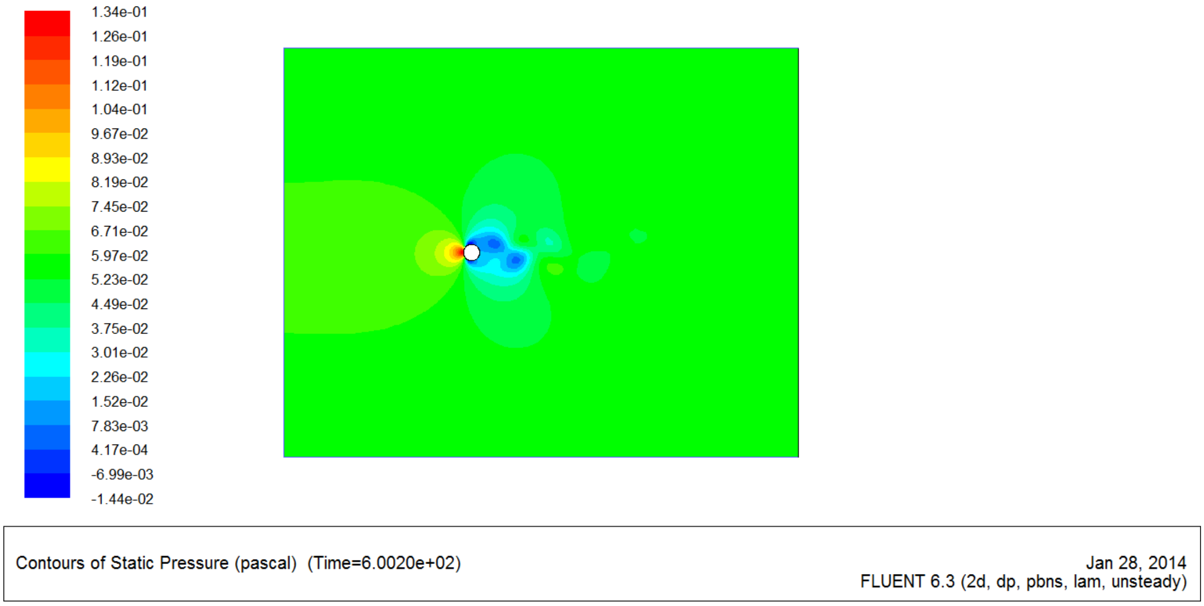


a) l'eau **b) l'air**

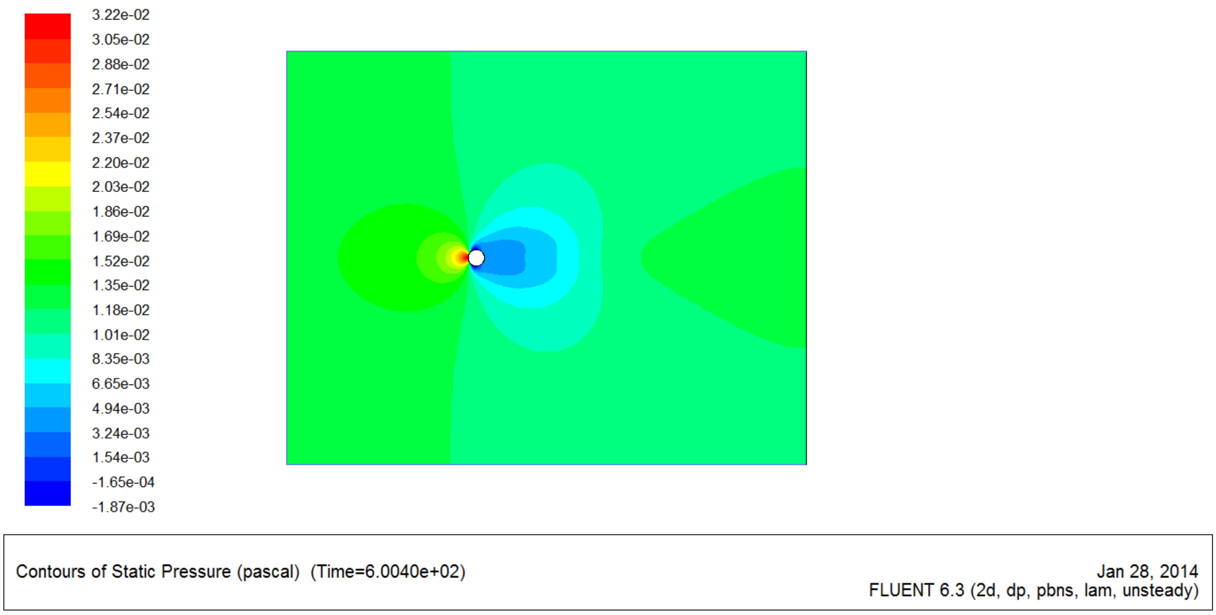
Figure IV.20 :Lignes de courant instantanées enregistrées à t = 600s pour une vitesse de circulationVx = 0.012m/s

La figure IV.20 montre que pour le cas de l'air, le comportement des lignes de courant est celui d'un écoulement laminaire stable, Ce n'est pas le cas de l'eau ou l'écoulement est instationnaire.

- **Le champ de pression**



(a)EAU



(b) AIR

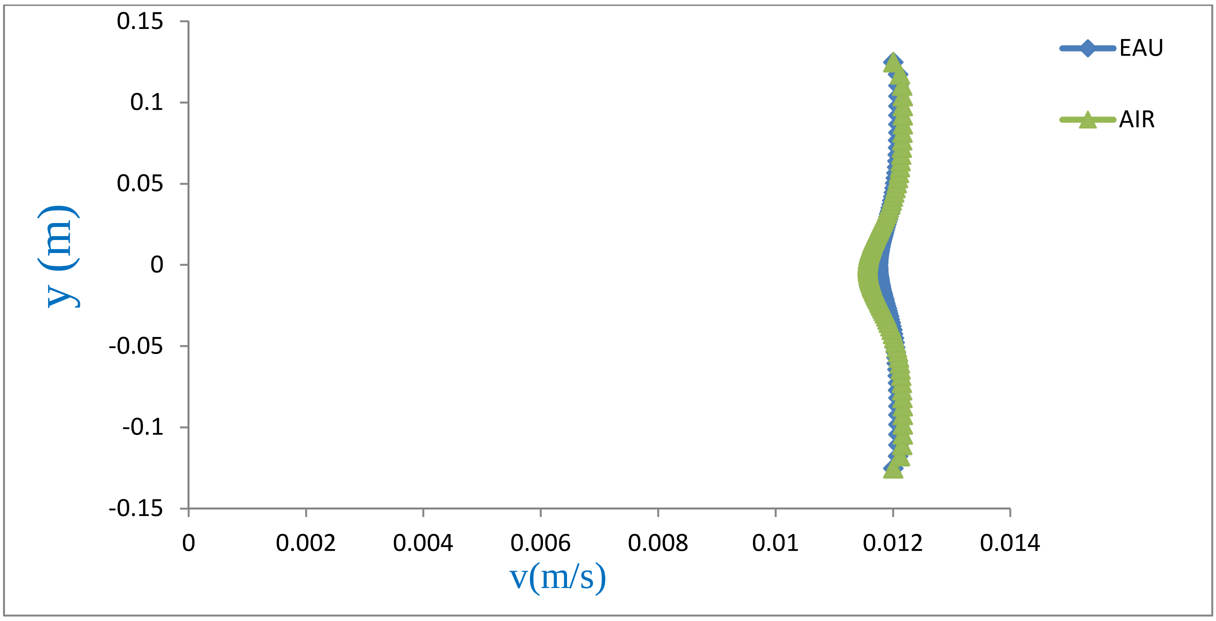
Figure IV.21 : Contours instantanés du champ de pression pour : (a) eau, (b) air

à Vx = 0.012 m/s

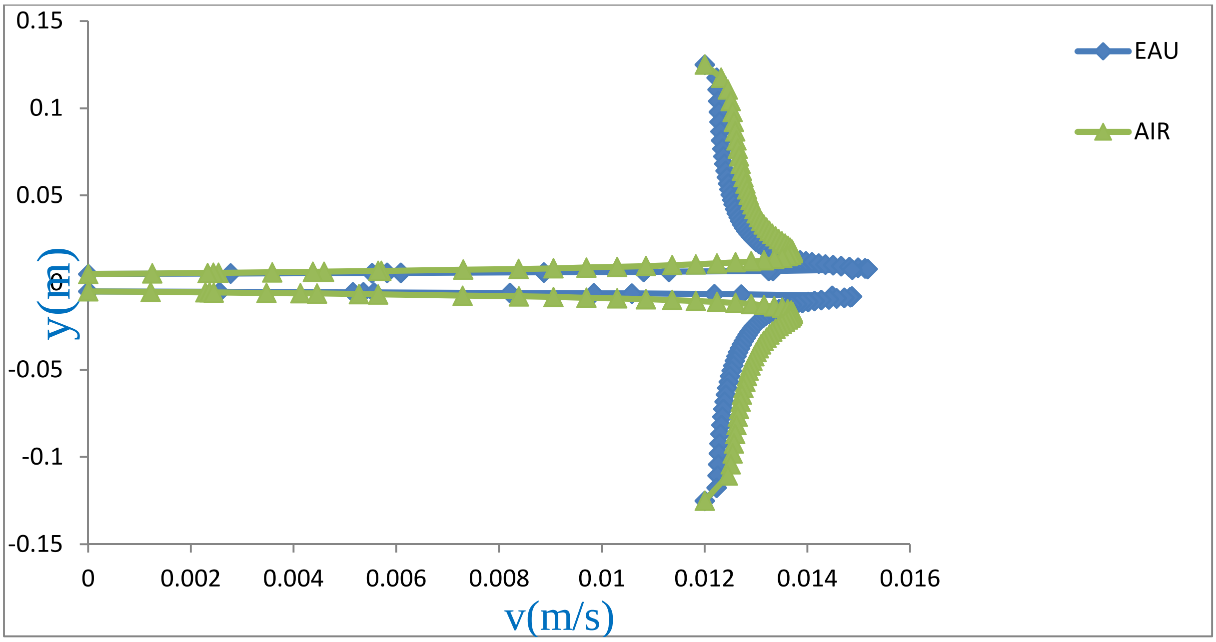
Les résultats de la figure IV.21montre la différence entre le champ de pression obtenu avec deux fluides différents. Lorsque l'écoulement devient instationnaire figure IV.21 (a), le champ instantané pris au temps de simulation t = 600s montre que la zone de dépression semble plus importante que celle de l'écoulement stationnaire figure IV.21(b).

- **Les profils des vitesses**

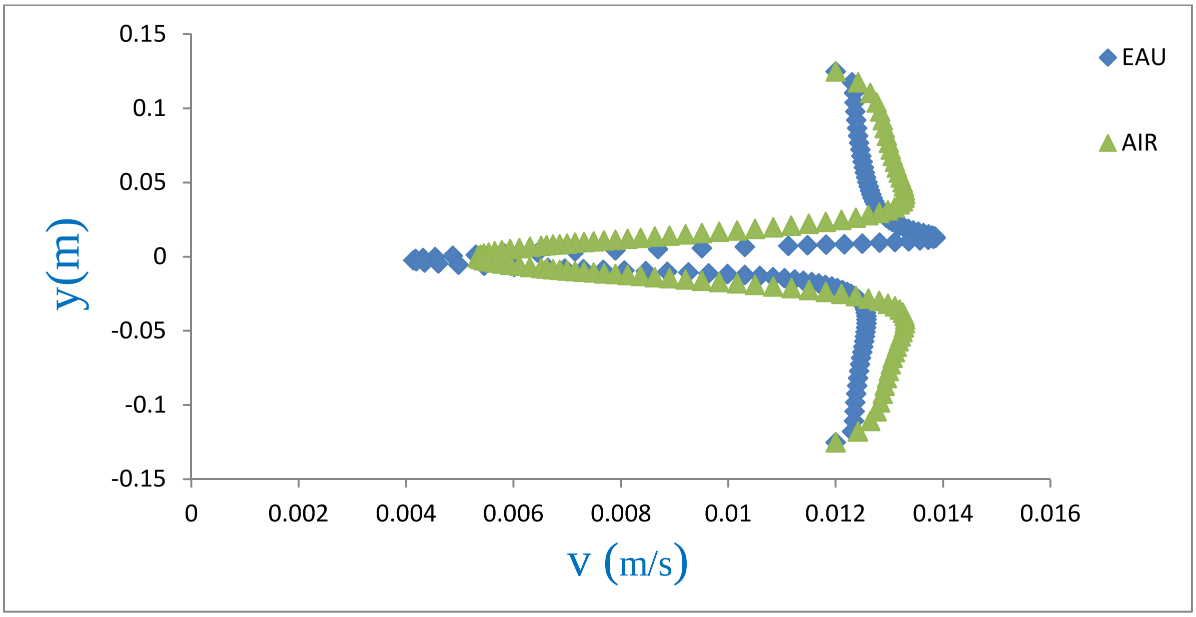
Nous traçons les différents profils de vitesse relative, obtenus en amont, au niveau et en aval del'obstacle comme précédemment.



(a) en amont l'obstacle



(b)au niveau l'obstacle



(c) en aval l'obstacle

Figure IV.22 :Profils de la vitesse axiale : (a) en amont, (b) au niveau, (c) en aval des obstacles à une vitesse de circulation Vx =0.012m/s

La figure IV.22 montre les profils instantanés de la vitesse enregistrée le long des lignes verticales en amont, au niveau et en aval de l'obstacle, ou on remarque qu'en amont et au niveau de l'obstacle, les profils sont proches. Par contre en aval de l'obstacle les profils n'ont pas la même Allure.

- **La dépression par unité de longueur**

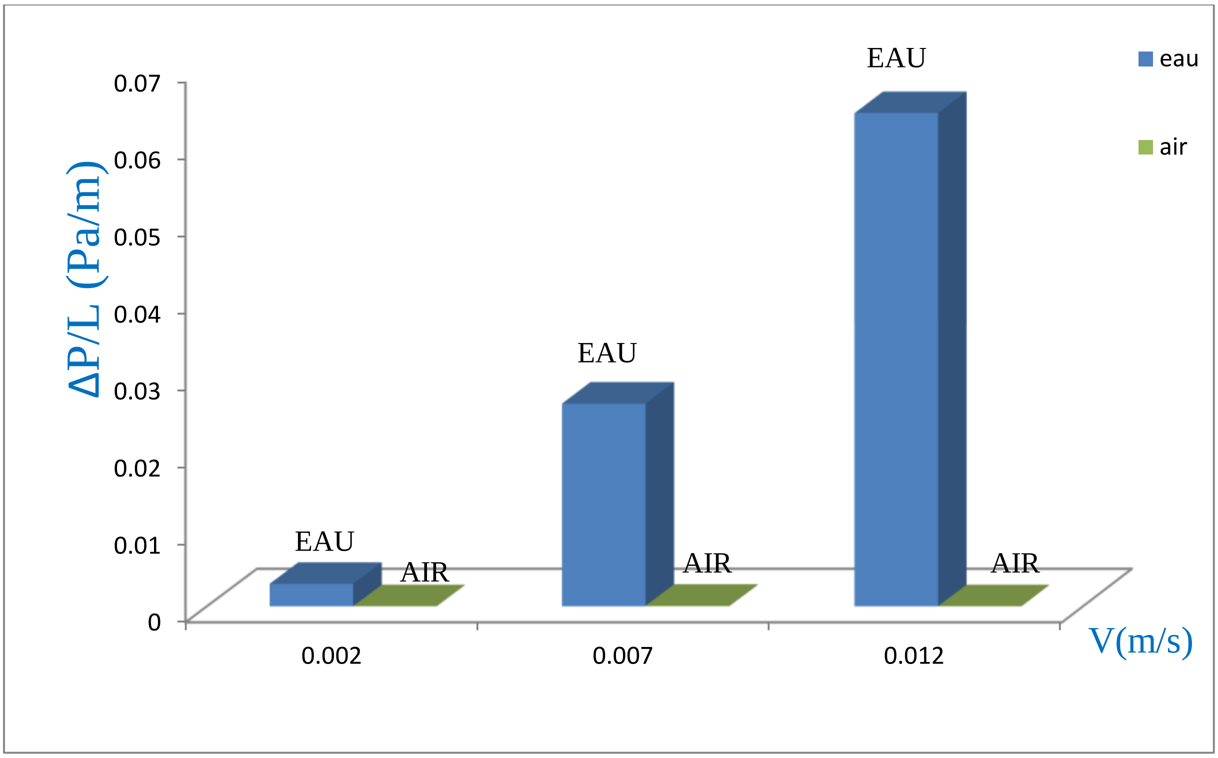


Figure IV.23 :Histogrammes de la dépression par unité de longueur en fonction de la vitesse de circulation pour les fluidesdifférents

La figure IV.23nous permet de remarquer que la dépression parunité de longueur augment lorsque la vitesse de circulation augmente. On remarque aussi que la dépression par unité de longueur enregistrée avec de l'eau est nettement supérieure à celle de l'air.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce manuscrit résume un travail de simulation numérique qui a pour objectif l'étude d'un écoulement bidimensionnel autour d'un obstacle circulaire. La simulation numérique par le code de calcul Fluent a été adoptée pour résoudre les équations d'écoulement d'un fluide. Ce travail nous a permis de tirer de riches renseignements sur le comportement d'un écoulement bidimensionnel et newtonien, on cite :

L'augmentation de la vitesse d'entée entraîne l'instabilité de l'écoulement à faible nombre de ReynoldRe<60, l'écoulement reste stable. Puis à partir de Re> 60 l'écoulement devient instationnaire, l'écoulement reste symétrique pour les deux cas. Un point de détachement qui s'éloigne de l'obstacle ce manifeste dans la zone de sillage. Etaussi l'augmentation de la vitesse provoque une dépression plus importante.

L'augmentions du diamètre de l'obstacle cylindrique entraine une déstabilisation de l'écoulement,ou le sillage qui se forme derrière l'obstacle s'étend dans les directions x et y du domaine fluide. La dépression augmente avec l'augmentation de diamètre de l'obstacle.

Avec le de la forme de l'obstacle on a constaté que l'écoulement est stationnaire pour le cas de l'obstacle elliptique est devient i stationnaire pour les différentes formes d'obstacle, la dépression est maximale pour la surface plane autour de l'obstacle carré est minimale autour des obstaclesde forme aérodynamiquecomme l'obstacle elliptique.

Avec le changement de fluide de masses volumiques différentes, pour une même vitesse de circulation, l'écoulement est instationnaire dans le cas de l'eau, et stationnaire dans le cas de l'air. La dépression par unité de longueur enregistrée avec de l'eau est nettement supérieure à celle de l'air.

Références Bibliographiques

[1]- Cours sur les notions de Mécanique Des Fluides.pdfhttp://learn.univ-sba.dz/pluginfile.php/1984/course/overviewfiles/cours

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

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

[4]-Cours la méthode de mesure de la viscosité «viscosimètre capillaire, couette, chute de bille»https://www.hellopro.fr/viscosimetres

[5]-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.

[6]-M.Breuer et Al. (2000), "Accurate computations of the laminar flow past a square cylinderbased on twodifferentmethods: Lattice-Boltzmann and finite-volume". International Journal of Heat and Fluid Flow 21 ,2000.

[7]-Damien .Calluaud, Laurent David, Sébastien Rouvreau, Pièrre Joulain, « Ecoulement laminaire autour d'un cylindre carré .comparaison calcul experience. », Nancy, 3-7 Septembre 2001.

[8]-N. Takafumi et al (2006), « Etude expérimentale et numérique d'un écoulement autour d'obstacles carré et cylindrique », Thèse université de Constantine.

[9]-P.F. Zhang, J.J. Wang, L.X. Huang, Numerical simulation of flow aroundcylinderwith an upstreamrod in tandem at low Reynolds numbers, Applied Ocean Research Vol 28 PP183–192. 2006.

[10]-P.Ribot et Y. Blanchet (2007), «Buffeting lift forces and local air–water flow aspects around a rigid cylinder, International Journal of MultiphaseFlow.VOL 33 PP 1237-1254.2007».

[11]-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.

[12]-M. Huptas et W. Elsner (2008), "Steady and unsteady simulation of flow structure of two surface-mounted square obstacles", TASK QUARTERLY 12 No 3, 197-207.

[13]-Shuyang Cao –Yukio Tamura (2008), « Etude expérimentale et numérique d'un écoulement autour d'obstacles carré et cylindrique », Thèse université de Constantine, 2010.

[14]-Hafida .N, Mohamed.S (2010), " Etude numérique des effets d'obstacles sur le profil du vent », Revue des énergies renouvelable SMEE'10 Bou Ismail –Tipaza, 2010.

[15]Jiraporn Yojina, Waipot Ngamsaad, Narin Nuttavut , Darapond Triampo, Yongwimon Lenbury, Paison Kanthang, Somchai Sriyab, wannapong Triampo," Investigating flow patterns in achannelwithcomlex obstacles using the lattice Boltsmann method", Journal of Mechanical Science and Technology 24(10)-2010

[16]-Gera.B, Pavan K.Sharma, Singh R.K," CFD analysis of 2D unsteady flow around a square cylinder", Intrenanational Journal of Applied Engineering Research , DINDIGUL, Volume1, N 3, 2010.

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

[18]-StephaneMossaz (2011), « Etudes expérimentales et numériques des écoulements inertiels de fluides à seuil autour d'un cylindre », Thèse université Grenoble Alpes, France, 2011.

[19]-J.SJAH «Université de Lyon, LTDS, UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully CEDEX (jessica_sjah@hotmail.com; eric.vincens@ec-lyon.fr; marie.chaze@ec-lyon.fr) ».Thèse université de Lyon, France.

[20]-Zaiz Y.Zaiz Et H.Bendjadou (2017), «Simulation numérique de l'écoulement d'un fluide Newtonien et incompressible à travers un faisceau de tubes», mémoire de Fin d'Etudes, Université KasdiMerbah Ouargla, Algérie.

[21]- H.K. Versteeg, W. Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, Prentice Hall, London, 1995.

[22]-Cours méthode de volumes finis chapitre3,http://thesis.univ-biskra.dz/2722/5/Chapitre%2003.pdf

[23]-M.Sato, T.Kobayashi ;<<A fundamentalstudy of the flow past a circularcylinderusingAbaqus/CFD>>, 2012 SIMULIA Community Conference, Providence, RI, USA

Annexe

VITESSE (m/s)	ΔP/L (Pa/m)
0,002	0,00292885
0,005	0,01613966
0,007	0,0263157
0,012	0,0639422

Tableau 1 : La dépression par unité de langueur en fonction de la vitesse de circulation du fluide.

VITESSE (m/s)	**ΔP/L (Pa/m)**		
	D=1cm	**D=3cm**	**D=5cm**
0,012	0,0 639422	0,255564	0,57882633

Tableau 2 : La dépression par unité de longueur en fonction du diamètre de l'obstacle.

VITESSE (m/s)	**0,002**	**0,005**	**0,012**
Cylindre	0,00292885	0,01613966	0,0639422
Carré	0,00802326	0,047802706	0,24216996
Triangle	0,00265424	0,01886142	0,0668113
Ellipse	0,00307926	0,015047132	0,08890115

Tableau 3 : la dépression par unité de longueur en fonction de la vitesse de circulation du fluide pour les différents obstacles.

VITESSE (m/s)	**0,002**	**0,007**	**0,012**
EAU	0,00292885	0,0263157	0,0639422
AIR	0,00001355	0,0000779	0,0000178

Tableau 4 : la dépression par unité de longueur en fonction de la vitesse de circulation pour les fluides différents.