

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE BLIDA 1



Institut d'Aéronautique et des études spatiales

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master en Aéronautique

Spécialité: Construction Aéronautique

Option : Structure Avion

Etude Numérique de l'Écoulement autour d'un Corps non profilé

Réalisé par :

M^{lle} Yebbal Tin-Hinan

M^{lle} Bouzerzour Meriem

Dirigé par :

Mr El Hadi Khali

Promotion 2017

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord à Monsieur **EL HADI KHALI**, à qui nous sommes très reconnaissantes d'avoir accepté de diriger notre travail de Master. Merci pour tout ce que vous avez fait pour nous rendre la tâche facile durant toute cette année en étant disponible et accessible.

Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur **SBAA** qui nous a permis d'avoir toutes les informations nécessaires pour réussir notre modeste travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner ce mémoire et de l'enrichir par leurs propositions.

A nos parents de nous avoir encouragés, supportés, épaulés et avoir cru en nous tout au long de ces années. Sans eux, nous ne serons pas là.

A nos frangins, frangines et amis de la promo de 2017.

Je remercie enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

Merci à tous

DEDICACES

A ma très chère patrie l'Algérie ;

A celles pour qui on doit toute réussite, à nos mères ;

A nos très chers pères ;

A nos merveilleuses ;

A nos frères;

A tous nos amis.

Résumé

Lorsqu'un corps se déplace dans un fluide, des conséquences remarquables s'observent sur le corps et aussi dans les propriétés de l'écoulement. Le corps subit des contraintes de frottement du fluide (trainée visqueuse) et des contraintes dues à la pression autour de sa surface (trainée de forme). Les contributions relatives de ces efforts dépendent fortement de la forme de l'obstacle. Quand il n'existe pas de décollement de la couche limite, les effets de la viscosité sont prépondérants et, à l'inverse, c'est la pression qui pilote la trainée dans le cas où il existe un décollement.

Dans de multiples situations, nous pouvons observer des émissions tourbillonnaires derrière un obstacle (lors du vol d'un avion, du déplacement d'un bateau, écoulement autour d'un cylindre, dans l'atmosphère,...etc.), l'étude du lien des tourbillons émis avec les efforts qui s'exercent sur l'obstacle est un sujet d'actives recherches.

Dans ce contexte, l'identification de la topologie de l'écoulement autour d'un cylindre à section carrée et cylindrique est choisi comme étude par voie numérique afin d'explorer les principales zones où des structures tourbillonnaire se forment.

Le choix d'un cylindre de ces géométries est d'essayé de s'approcher de quelques applications pratiques, à savoir dans l'industrie automobile ou bien dans le domaine de génie civile de la construction d'immeuble ou bien encore dans le domaine électronique pour le refroidissement de composants électroniques..etc.

Les calculs numériques à entreprendre seront réalisés en utilisant un code de calcul disponible.

Mots clés : CFX, Fluent, Carré, Cylindre, Sillage, Von Karman.

Abstract

When a body moves in a fluid, remarkable consequences are observed on the body and also in the properties of the flow. The body undergoes stresses of friction of the fluid (viscous drag) and stresses due to the pressure around its surface (shaped trail). The relative contributions of these efforts depend strongly on the shape of the obstacle. When there is no separation of the boundary layer, the effects of the viscosity are preponderant and, conversely, it is the pressure which controls the drag in the event of a separation.

In many situations, we can observe vortex emissions behind an obstacle (during the flight of an aircraft, the movement of a boat, the flow around a cylinder, the atmosphere, etc.), the study the connection of the vortices produced with the efforts exerted on the obstacle is a subject of active research.

In this context, the identification of the topology of the flow around a cylinder of square and cylindrical cross section is chosen as a numerical study in order to explore the main zones where vortex structures are formed.

The choice of a cylinder of these geometries is attempted to approach some practical applications, namely in the automotive industry or in the civil engineering field of building construction or even in the electronic field for the cooling of electronic components, etc.

The numerical calculations to be undertaken will be carried out using an available calculation code.

Keywords: CFX, Fluent, Square, Cylinder, Wake, Von Karman.

عندما يتحرك الجسم في السائل، ويلاحظ عواقب ملحوظة على الجسم وأيضا في خصائص التدفق. يخضع الجسم لضغوط حول سطحه (درب الشكل). وتعتمد المساهمات النسبية لهذه الجهود بقوة على شكل العقبة. عندما لا يكون هناك فصل بين طبقة الحدود، آثار اللزوجة هي الغالبة، وعلى العكس من ذلك، هو الضغط الذي يتحكم في السحب في حالة الانفصال. في العديد من الحالات، يمكننا أن نلاحظ انبعثا ()

اسطوانة، والغلاف الجوي، وما إلى ذلك)، والدراسة فإن ربط الدوامات المنتجة مع الجهود المبذولة على عقبة هو موضوع

في هذا السياق، يتم اختيار تحديد طوبولوجيا تدفق حول اسطوانة من المقطع العرضي مربع و أسطواني كدراسة عديدة من أجل استكشاف المناطق الرئيسية حيث يتم تشكيل هياكل دوامة. ويحاول اختيار اسطوانة من هذه هندستها الاقتراب من بعض التطبيقات العملية، وهي في صناعة السيارات أو في مجال الهندسة المدنية من بناء المباني أو حتى في مجال الإلكترونيات لتبريد المكونات الإلكترونية. وستنفذ الحسابات العددية التي يتعين الاضطلاع بها باستخدام شفرة حسابية متاحة.

Fluent CFX : مربع، اسطوانة، ويك، فون كارمان.

Liste des figures

Figure (1-1) Ecoulement rampant autour d'un cylindre circulaire.....	12
Figure (1-2) Ecoulement stationnaire décollé autour d'un cylindre circulaire.....	13
Figure (1-3) Ecoulement laminaire instationnaire bidimensionnel.....	14
Figure (1-4) Ecoulement turbulent autour d'un cylindre circulaire	14
Figure (1-5) Ecoulement turbulent autour d'un cylindre circulaire.....	15
Figure (1-6) Allée tourbillonnaire de Von Karman.....	16
Figure (1-7) écoulement autour d'un cylindre à section carrée	16
Figure (3-1) géométrie d'un carré en 2D	38
Figure (3-2) géométrie d'un cylindre en 2D	38
Figure (3-3) géométrie d'un carré en 3D.....	38
Figure (3-4) Détails du maillage dans le cas 2D avec le modèle SST et Reynolds 1600	40
Figure (3-5) Détails du maillage dans le cas 2D avec le modèle k- et Reynolds 1600.....	40
Figure (3-6) Détails du maillage 2D avec le modèle SST et Reynolds 75 ,100 125	41
Figure (3-7) Détails du maillage dans le cas 3D avec le modèle SST et Reynolds 21 400...	41
Figure (3-8) l'inflation dans le cas du cylindre en 2D avec le modèle SST.....	43
Figure (3-9) l'inflation dans le cas du carré en 2D avec le modèle SST.....	44
Figure (3-10) inflation dans le cas du carré 2D avec le modèle k-	44
Figure (3-11) l'inflation dans le cas du cylindre 2D avec le modèle k-	45
Figure (3-12) l'inflation dans le cas du carré 3D avec le modèle SST.....	45

Figure (3-13) qualité du maillage du cylindre 2D avec le modèle SST et Reynolds 1600.....	46
Figure (3-14) qualité du maillage du carré 2D avec le modèle SST et Reynolds 1600.....	46
Figure (3-15) Qualité du maillage du carré 2D avec le modèle k- et Reynolds 1600.....	47
Figure (3-16) Qualité du maillage du cylindre 2D dans le cas k- et Reynolds 1600.....	47
Figure (3-17) Qualité maillage carré 2D avec le modèle SST et Reynolds 75,100,125.....	48
Figure (3-18) Qualité maillage cercle 2D avec le modèle SST et Reynolds 75,100,125	48
Figure (3-19) Qualité du maillage du carré dans le cas 3D en SST et Reynolds 21400.....	49
Figure (3-20) Echelle de vérification de la qualité du maillage selon CFX.....	49
Figure (3-21) Résultat final maillage du cylindre en 2D avec le mode SST.....	50
Figure (3-22) Résultat final du maillage du carré en 2D avec le mode SST.....	50
Figure (3-22) Résultat final du maillage du carré en 2D avec le mode SST.....	51
Figure (3-23) Résultat final du maillage du carré en 2D avec le mode k-	52
Figure (3-24) Résultat final du maillage du cylindre en 2D avec le mode k-	52
Figure (3-25) Résultat final du maillage du carré en 3D avec le mode SST.....	53
Figure (3-26) configuration du model des géométries 2D en SST.....	57
Figure (3-27) configuration du model des géométries 2D en k-	57
Figure (3-28) configuration du model des géométries 3D en SST.....	58
Figure (3-29) configuration des CL dans le cas de la 2D avec Reynolds 1600.....	58
Figure (3-30) configuration des CL dans le cas de la 2D avec Reynolds 100.....	59
Figure (3-31) configuration des conditions limites dans le cas de la 3D.....	59
Figure (3-32) configuration des paramètres de calcul dans le cas du cylindre en 2 D.....	60
Figure (3-33) configuration des paramètres de calcul dans le cas du carré en 2D	61
Figure (3-34) configuration des paramètres de calcul dans le cas du carré en 3D.....	61
Figure (4-1) Visualisation général de l'écoulement autour du cylindre.....	64
Figure (4-2) Visualisation général de l'écoulement autour du carré.....	65
Figure (4-3) ligne de courant du cylindre à t=0.1s avec le modèle SST.....	66
Figure (4-4) ligne de courant du cylindre à t=2s avec le modèle SST.....	66
Figure (4-5) ligne de courant du cylindre à t=3s avec le modèle SST.....	66
Figure (4-6) ligne de courant du carré à t=0.1s avec le modèle SST.....	67

Figure (4-7) ligne de courant du carré à $t=2s$ avec le modèle SST.....	67
Figure (4-8) ligne de courant du carré à $t=3s$ avec le modèle SST.....	67
Figure (4-9) ligne de courant du cylindre à $t=1s$ avec le modèle k-	68
Figure (4-10) ligne de courant du cylindre à $t=2s$ avec le modèle k-	68
Figure (4-11) ligne de courant du cylindre à $t=3s$ avec le modèle k-	68
Figure (4-12) ligne de courant du carré à $t=1s$ avec le modèle k-	69
Figure (4-13) ligne de courant du carré à $t=2s$ avec le modèle k-	69
Figure (4-14) ligne de courant du carré à $t=3s$ avec le modèle k-	69
Figure (4-15) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=0.1 s$ avec le modèle SST.....	71
Figure (4-16) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=1s$ avec le modèle SST.....	71
Figure (4-17) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=1.5s$ avec le modèle SST.....	72
Figure (4-18) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=2s$ avec le modèle SST.....	72
Figure (4-19) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=2.5s$ avec le modèle SST	72
Figure (4-20) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=3s$ avec le modèle SST	73
Figure (4-21) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=0.1s$ avec le modèle SST.....	73
Figure (4-22) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=1s$ avec le modèle SST	73
Figure (4-23) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=1.5s$ avec le modèle SST.....	74
Figure (4-24) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=2s$ avec le modèle SST.....	74
Figure (4-25) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=2.5s$ avec le modèle SST.....	74
Figure (4-26) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=3s$ avec le modèle SST.....	75
Figure (4-27) : Courbe de vitesse autours du cylindre à $t=3s$ avec le modèle k-	75
Figure (4-28) : Courbe de vitesse autours du carré à $t=3s$ avec le modèle k-	75
Figure (4-29) : Courbure de pression autours du carré à $t=3s$ avec le modèle SST.....	77
Figure (4-30) : Courbure de pression autours du carré à $t=3s$ avec le modèle SST.....	77
Figure (4-31) Contour de l'énergie cinétique autours du carré à $t=2s$ en SST.....	79
Figure (4-32) Contour de l'énergie cinétique autours du carré à $t=3s$ en SST.....	79
Figure (4-33) Contour de l'énergie cinétique autours du cylindre à $t=2s$ en SST.....	80
Figure (4-34) Contour de l'énergie cinétique autours du cylindre à $t=3s$ en SST.....	80
Figure (4-35) graphe représentant le coefficient de portance en fonction du temps	85

Figure (4-36) graphe représentant le coefficient de portance en fonction du temps	86
Figure (4-37) graphe représentant le coefficient de portance en fonction du temps	86
Figure (4-38) Courbe de Strouhal en fonction de Reynolds	88
Figure (4-38) Courbure de la vélocité dans le cas 3 D à t=3s.....	88
Figure (4-39) Courbure de l'énergie cinétique dans le cas 3 D à t=3s.....	90
Figure (4-39) Courbure de l'énergie cinétique dans le cas 3 D à t=3s	91

Notations

G_K	Terme de production de l'énergie cinétique turbulente	kg/m^3
G	Accélération	m/s^2
A	Surface	m^2
$C_\varepsilon C_\mu C_\Delta$	Constantes	
N_f	Nombre de faces d'une cellule,	
P	Pression	N/m^2
P'	Fluctuation de pression	N/m^2
P	Pression statique	N/m^2
$U_i (i=1,2,3)$	Composante la vitesse instantanée suivant la direction i	m/s
$\bar{U}_i (i=1,2,3)$	Composante de la vitesse moyenne suivant la direction i	m/s
$u'_i (i=1,2,3)$	Composante de la vitesse fluctuante suivant la direction i	m/s
K	Energie cinétique turbulente	m^2/s^2
S_t	Nombre de Strouhal	
L	Echelle de longueur des grosses structures de turbulence	m
Re	Nombre de Reynolds	
$\overline{u'_i u'_j}$	Tension de Reynolds	m^2/s^2
G et K	Rapports d'espace	
X_i	Coordonnée	

	Viscosité cinématique m ² /s	m ² /s
u_t	Dynamique turbulente	kg/ms
	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	m ² /s ³
μ	Viscosité dynamique kg/ms	kg/ms
t	Viscosité cinématique turbulente	m ² /s
	Masse volumique	kg/m ³
	Taux de cisaillement	kg/ms ²
$\sigma_k \sigma_\epsilon$	Nombres de Prandtl turbulent associés à k et Respectivement	
F	Fréquence d'émission des tourbillons	1/t
D	longueur caractéristique	m
V	Vitesse de l'écoulement non perturbé	m/s
τ_t	Tenseur de contrainte	
Γ_ϕ	Coefficient de diffusion	
∇_ϕ	Gradient du scalaire	
$(\nabla_\phi)n$	Gradient du scalaire dans la direction normale a la face f	
	Angle de rotation du cylindre	

INTRODUCTION GENERALE

1-INTRODUCTION GENERALE :

Les écoulements des fluides autour des structures sont des phénomènes fréquents dans tous les domaines tels que l'industrie aéronautique, automobile, mécanique...etc.

L'optimisation des systèmes modernes comportant ce phénomène est étroitement lié à la maîtrise et au contrôle de la cinématique et de la dynamique de la mécanique des fluides, ceci est d'une grande complexité puisque cela dépend de nombreux paramètres tels que les propriétés physiques du fluide, la configuration géométrique du milieu... etc. En fonction de ces différents facteurs, la structure globale de l'écoulement peut être profondément modifiée.

Lorsqu'un corps se déplace dans un fluide, il subit des contraintes de frottements du fluide qu'on nomme traînée visqueuse, et des contraintes de la forme de l'obstacle qu'on appelle traînée de forme, ces forces sont directement liées à la géométrie de l'obstacle.

Lorsqu'il se produit un Décollement dans la couche limite c'est la pression qui pilote cette traînée, ainsi les effets dissipatifs dus à la viscosité du fluide tendent à envahir l'écoulement. Ce mouvement se traduit par la formation des structures tourbillonnaires appelées : tourbillons ou vortex, lors de ce phénomène le fluide paraît quitter la paroi et des filets de ce dernier tournent en formant des tourbillons, ces derniers se détachent en aval de l'écoulement, Ils forment alors une rangée double de tourbillons, appelée allée de Bénard-Von Karman.

Von Karman a été le premier à faire une recherche théorique sur ce sujet c'est pour cette raison qu'il porte son nom : le sillage de Von Karman

La présente thèse s'intéresse à l'étude numérique de l'écoulement autour d'un corps non profilé, on s'intéressera en particulier à une géométrie carrée et cylindrique car ce sont des géométries simples mais très utilisées dans les différentes industries tel que les aubes des machines, les hélices des navires... etc.

Nous avons choisis l'utilisation d'une simulation numérique car cette technique est devenue depuis les dernières décennies un outil utile voire capital dans la prédiction du comportement des écoulements industriels et dans la conception de procédés en raison de son coût faible comparé au travail expérimental.

Le but de ce travail est d'étudier en utilisant une méthode numérique les écoulements autour de géométries différentes : cylindre à section circulaire et carré.

Le choix d'un cylindre de section carrée et cylindrique nous permet de s'approcher de quelques applications pratiques, à savoir dans l'industrie automobile, aéronautique, dans le domaine de génie civil de la construction d'immeuble ou bien encore dans le domaine électronique pour le refroidissement de composants électroniques...etc.

Nous avons opté pour l'utilisation du logiciel ANSYS FLUENT afin de faire notre étude dans le but de comparer les différentes géométrie et maîtriser le phénomène de van-karman entre l'écoulement autour d'obstacles carrées et cylindriques

2-ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE :

La recherche est liée directement à l'évolution de la technologie; et c'est ce qui pousse les chercheurs à avancer dans des cas très compliqués et d'actualité susceptibles d'être traités à l'aide d'un outil informatique très puissant et avec des moyens expérimentaux les plus sophistiqués et les plus performants. Afin d'élargir nos connaissances dans ce domaine, nous avons fait une lecture des autres auteurs qui se résumant comme suit :

Guojon-Durand et al (2001) 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 ya lieu d'une réduction de l'instabilité hydrodynamique. Et par la suite, ils ont modifié l'écoulement moyen en fonction de certains paramètres mécanique de structure du corps.

D. Calluad et al (2001) ont mené une étude expérimentale et numérique de l'écoulement laminaire d'un fluide autour d'un obstacle de section carrée disposé sur une plaque plane. La mesure de l'écoulement est faite par PIV (Particle Image Velocimetry). La confrontation des deux méthodes ont données les mêmes résultats qui se manifestent par la topologie de l'écoulement, les lignes de séparation, le lâchage tourbillonnaire. A part, une légère formation de tourbillons verticaux lâchés au-dessus du cube s'avère un peu plus grande que celle faite par l'expérience.

Madani et Abidat (2002) 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 instationnaires autour des corps profilés. Les avantages en temps de calcul et en précision de la méthode proposée ont été mis en évidence.

S.C Luo et al. (2003), Les travaux expérimentaux sur les obstacles carrés, employant comme méthode de mesure un colorant fluorescent et la visualisation laser, ont permis de déterminer le nombre Reynolds critique de transition à 160 pour le mode A et à 200 pour le mode B. Il a été observé qu'au fur et à mesure que le nombre de Reynolds augmente jusqu'à 160, le caractère onduleux de sillage augmente. Ce qu'implique le mode A. A partir d'un nombre de Reynolds égal à 200, le sillage derrière l'obstacle devient complètement déformé, et les longueurs d'ondes sont de plus en plus faibles ; ce qui caractérise le mode B.

N. Roquet et al (2003) 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.

QIE- Rong et al (2006) 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) 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) 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.

M.Cheng et al (2007) ont simulé un écoulement de cisaillement linéaire incompressible bidimensionnel au-dessus d'un tube carré. Ils ont montré l'effet du taux de cisaillement γ sur la fréquence du décollement de tourbillon du cylindre. Les résultats obtenus montrent que le vortex derrière le cylindre dépend fortement du taux de cisaillement et du nombre de Reynolds. Pour un nombre $Re = 50$, l'effet d'un petit nombre γ cause un décollement de tourbillon alternatif suivi d'une intensité inégale, alors que pour un $Re > 50$ et une grande valeur de γ , supprime le décollement de tourbillon du cylindre. Les différences dans la force et la taille de vortex des côtés supérieurs et inférieurs du cylindre deviennent plus prononcées au fur et à mesure que le nombre augmente.

R. Belakroum et al (2007) 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.

F. Meddane et al (2007) 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 la fluence directe sur la distribution de pression et donc sur les forces aérodynamiques du profil.

Dal Jae Park et al (2007) 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) 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) Ont mené une étude numérique d'un écoulement transitoire au-dessus d'un cylindre circulaire. La résolution numérique du problème a été faite à l'aide d'une méthode IBM (Méthode Immersée de Boltzmann) de correction-treillis.

Ils ont constaté que cette méthode est simple dans le concept et facile pour l'exécution et la convergence du calcul numérique est plus rapide et plus stable.

I. Khabbouchi et M.S. Guellouz (2008) 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) 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) Une étude expérimentale et numérique menée dans une conduite horizontale rectangulaire au milieu de laquelle est placé un cylindre carré de hauteur $h = 0.01$ m et de largeur $l = 0.02$ 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, $Remc = 90$. Pour des $Re > 180$ les instabilités deviennent très importantes. Les résultats de la simulation numérique 2D sont en concordance avec les résultats expérimentaux l'erreur est inférieure à 15 %.

E. Faghani et al (2009) 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) 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.

N. Mahir (2009) Ont étudié l'écoulement bidimensionnel et tridimensionnel autour d'un cylindre carré placé près d'un mur plat avec un rapport d'espace G/D varié et pour de nombres de Reynolds aussi variables, en utilisant une méthode entièrement implicite, de différence finie des équations Navier –Stokes. Ils ont constaté que la simulation numérique de l'écoulement tridimensionnel prévoit les coefficients de traînée et la racine carrée des coefficients de portance inférieurs que ceux de l'écoulement bidimensionnel. Ils ont conclu que le coefficient de traînée et la racine carrée des coefficients de portance diminue légèrement aux grands rapports d'espace G/D .

L. Bruno et al (2009) 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) se sont intéressés à la simulation par les différentes formulations de la fonction-vorticité pour résoudre l'équation de Navier-stoks. Étudié l'écoulement de fluide réguliers et transitoires autour d'un obstacle carré. Ils onts conclué que cette formulation a plusieurs avantages, puisque la limite de pression est éliminée des équations de gouvernement et satisfait automatiquement l'équation de continuité.

3- Plan de travail

Le mémoire sera organisé selon les étapes suivantes :

Chapitre 1 : Une partie sera consacrée au sujet des écoulements autour d'un cylindre à section circulaire afin de comprendre le mécanisme conduisant à la naissance de l'Allé Tourbillonnaire de Von Karman caractéristique de cette configuration d'écoulements. Ensuite on considère le cas de l'écoulement autour d'un cylindre mais à section carrée dans le but de voir les différences aux cas précédent.

Chapitre 2 : Le modèle mathématique de ce type d'écoulement avec les hypothèses adéquates et le modèle de turbulence choisi pour modéliser la turbulence dans cette configuration d'écoulements autour d'un cylindre de section carrée. .

Chapitre 3 : Une présentation du code de calcul qui sera utilisé pour réaliser la simulation numérique sera exposée dans ce Chapitre. L'adaptation du cas d'étude au code en termes de schémas numériques de la discrétisation des équations, la méthode de résolution et la génération du maillage choisi pour les calculs.

Chapitre 4 : Les résultats des simulations numériques seront présentés dans ce Chapitre avec discussions et d'éventuelle comparaison avec d'autres résultats de la littérature notamment des mesures expérimentales si disponibles.

Une conclusion générale clôturera cette étude en reprenant les principaux résultats avec éventuels énonces des perspectives.

Description général

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION GENERALE

1-Généralités :

Les écoulements autour des obstacles constituent une famille d'écoulements dont les applications sont nombreuses en aérodynamiques et hydrodynamiques tels que les ailes d'avion, les sous-marins, les missiles Etc. Les mouvements du fluide autour des géométries circulaires ont souvent été étudiés expérimentalement ainsi que numériquement. Les écoulements analogues autour d'obstacles carrés ont suscité un peu moins d'attention et constituent un cas d'étude difficile qui fait actuellement l'objet de nombreuses recherches. Les phénomènes et les différents régimes observés sont similaires dans les deux cas mais les résultats quantitatifs diffèrent.

2 -Écoulements autour d'un cylindre à section circulaire :

Contrairement au cylindre à section carré, le cylindre à section circulaire a fait l'objet de nombreuses recherches, la dynamique des écoulements autour du cylindre à section circulaire est d'un grand intérêt pour de nombreux domaines industriels comme l'industrie du gaz, de l'aéronautique ou encore de la génie civil.

L'étude des mouvements des fluides autour du cylindre circulaire est cependant difficile, les écoulements contiennent de nombreuses caractéristiques qui le rendent riches et complexes: couche limite, transition laminaire/turbulent, décollement, couche de cisaillement, détachement tourbillonnaire, zone de recirculation, sillage turbulent entre autres...etc. C'est pour cette raison que l'écoulement autour d'un cylindre peut prendre plusieurs formes.

La forme du sillage obtenue est importante et peut être déterminée en premier lieu par le nombre de Reynolds, qui est défini par : $Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu}$ ou U_{∞} représente la vitesse à l'infini amont, « D » le diamètre du cylindre à section circulaire et ν la viscosité cinématique du fluide considéré.

Ainsi il est logique de dire que la dynamique des écoulements autour de cylindres circulaires varie en fonction du nombre de Reynolds.

2-1-Les types des écoulements autour d'un cylindre à section circulaire:

Grace aux nombreuses recherches qui ont été faites auparavant nous avons pu trier les écoulements et ceci en fonction du nombre de Reynolds [1]

2-1-1 Écoulement rampant

Pour $Re < 5$ les forces de viscosité étant prépondérantes, il n'y a pas de décollement. La couche limite est laminaire. L'écoulement est symétrique par rapport à l'axe central du courant et également entre l'amont et l'aval.

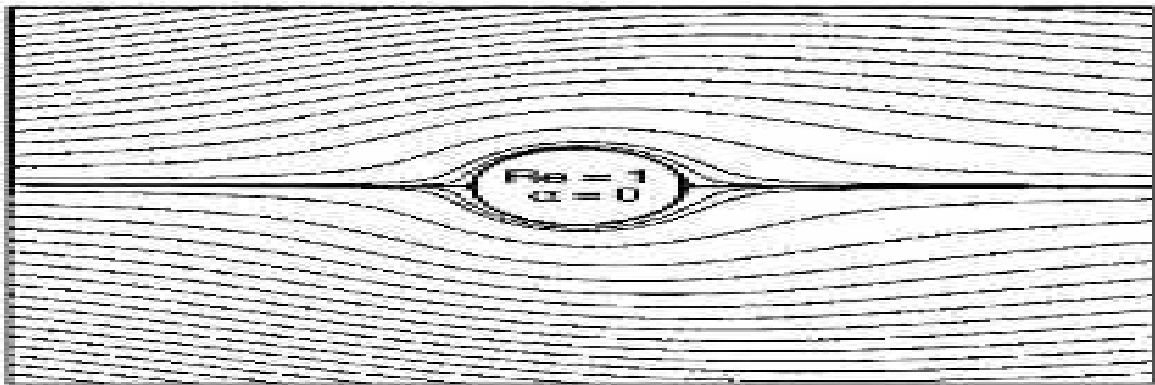


Figure (1-1) Ecoulement rampant autour d'un cylindre circulaire

2-1-2 Régime stationnaire décollé

Pour $5 < Re < 48$ les forces d'inertie augmentent, par conséquent, la couche limite n'est plus collée au cylindre, cependant elle est toujours laminaire. Le décollement de couche limite entraîne une augmentation des efforts de traînée. L'écoulement n'est plus symétrique comme précédemment en aval du cylindre, car un sillage de tourbillons stables apparaît. Le point de décollement se déplace vers l'amont du cylindre lorsque le nombre de Reynolds augmente.

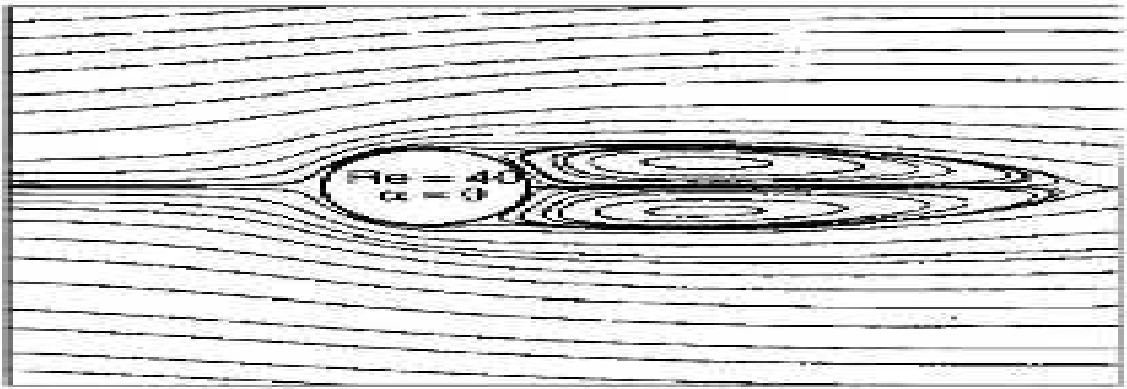


Figure (1-2) Ecoulement stationnaire décollé autour d'un cylindre circulaire

2-1-3-Régime laminaire instationnaire bidimensionnel :

Pour $48 < Re < 300$, les tourbillons se détachent périodiquement pendant que d'autres se forment. Une allée tourbillonnaire apparaît alors, on l'appelle allée de Von Karman. Le paramètre adimensionnel relatif à la fréquence de ces lâchers tourbillonnaires est le nombre de Strouhal défini par :

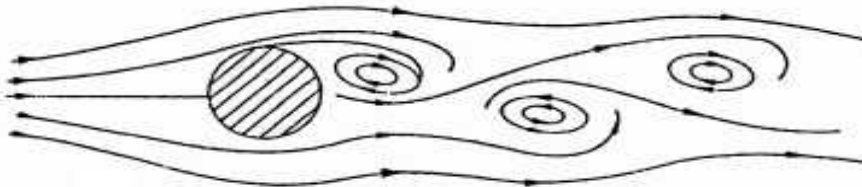
$$St = fD/U \quad (1.1)$$


Figure (1-3) Ecoulement laminaire instationnaire bidimensionnel

2-1-4 Régime turbulent

Pour $300 < Re < 2.10^5$, l'écoulement devient turbulent et le décollement augmente. Cependant, la couche limite est toujours laminaire.

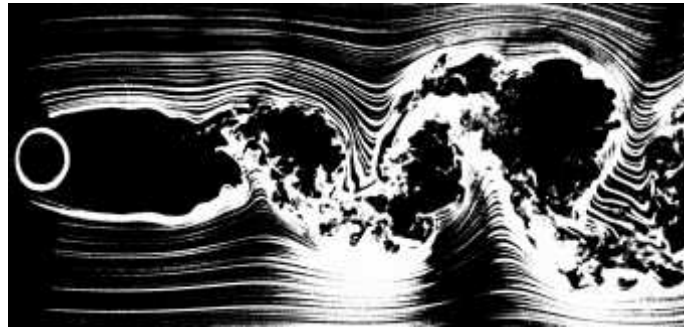


Figure (1-4) Ecoulement turbulent autours d'un cylindre circulaire

Au-delà de $Re=2.10^5$, la couche limite est turbulente. Le point de décollement se déplace vers l'aval quand le nombre de Reynolds augmente, car la couche limite est plus adhérente lorsqu'elle est turbulente. Ainsi, elle diminue la résistance au mouvement.

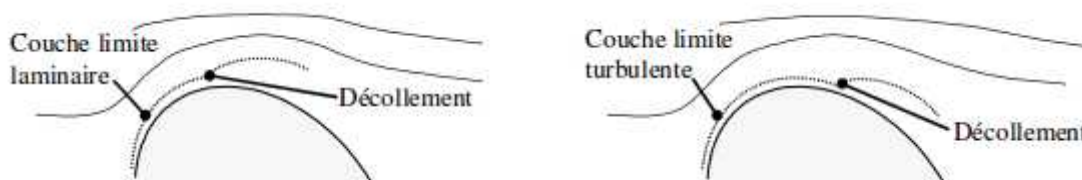


Figure (1-5) Ecoulement turbulent autours d'un cylindre circulaire

2-2 Allées de tourbillons de Von Karman :

Lorsque l'écoulement est perturbé par un obstacle et quand le nombre de Reynolds augmente, l'écoulement commence à se détacher derrière le cylindre en provoquant le détachement des tourbillons jusqu'à ce que l'écoulement devienne instationnaire, dès lors, il y a un détachement des tourbillons laminaires dans le sillage du cylindre, ce phénomène est appelé l'allée de Von-Karman.

Le détachement tourbillonnaire a tout d'abord été étudié expérimentalement par le chercheur français Henri Bénard, puis théoriquement par le physicien Theodor Von Karman en Allemagne. Il est créé au sein de la couche limite et dépend du nombre de Reynolds. Les tourbillons qui sont disposés de part et d'autres du cylindre et qui possèdent une vorticité inversée, s'enroulent et s'approchent des vorticités de signe opposé. Ils sont alors éjectés en aval. Ces tourbillons se détachent à tour de rôle alors que d'autres se créent à leur place. [2]

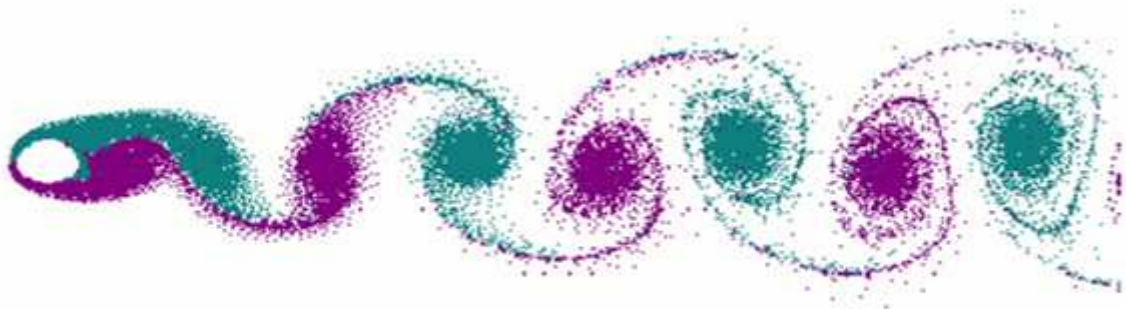


Figure (1-6) Allée tourbillonnaire de Von Karman

3-L'écoulement autour d'un cylindre a section carrée :

Au cours de la dernière décennie, des recherches expérimentales et numériques ont été réalisées pour comprendre les écoulements autour de différentes formes géométriques. Néanmoins, moins d'attention a été consacrée à l'écoulement autour des cylindres rectangulaires et spécifiquement carrés, bien que ce phénomène présente un grand intérêt tant du point de vue pratique que du point de vue académique par exemple l'ingénierie et les applications aérodynamiques, en particulier pour les interactions fluide-structure.

Les écoulements turbulents autour des obstacles carrés sont considérés comme une branche fondamentale dans la mécanique des fluides et sont largement utilisés dans les applications Industrielles, tel que : l'écoulement du vent autour des bâtiments, les écoulements dans les turbomachines, et applications tel que l'aérodynamique, l'ingénierie éolienne et le refroidissement électronique ...etc.

L'étude des flux autour des cylindres carrés et rectangulaires ainsi que la prédiction précise des propriétés d'écoulement sur ces derniers est importante. Des travaux expérimentaux ont été effectués dans des tunnels de vent ou des canaux d'eau pour déterminer les charges aérodynamiques sur ces géométries. Dans certains cas, les mesures sont combinées avec des visualisations de flux afin de fournir un aperçu phénoménologique sur le mouvement des fluides au voisinage du corps solide.

Les détails d'écoulement derrière ces géométries dépendent du nombre de Reynolds, du rapport d'aspect et de l'orientation par rapport au flux moyen. Le flux autour d'un cylindre rectangulaire est similaire à un cylindre circulaire. Cependant, le mécanisme de séparation dépend de la portance, de la traînée et du nombre de Strouhal sur le nombre de Reynolds. Les points de séparation sont fixés pour le cylindre carré soit au bord d'attaque, soit au bord de fuite. La région de formation de vortex est considérablement plus large et plus longue.

Malgré sa simplicité géométrique, la simulation numérique d'un flux autour d'un carré n'est pas une tâche banale, en raison de plusieurs facteurs: la présence de gradients de pression défavorables, les zones de séparation et de rattachement, les régions de recirculation,. Etc. Il convient de noter que la plupart des cas sont étudiés en utilisant les équations Navier-Stokes compressibles et incompressibles.

En général, le flux autour d'une géométrie en deux dimensions est défini par des séparations de flux qui résultent d'un sillage en aval qui, à son tour, provoque une allée de vortex. L'emplacement de ces derniers et leurs comportements dépendent du temps et fortement de la section transversale du corps. Le cylindre circulaire est l'exemple le plus primitif de ce phénomène, d'où le fait qui l'a été étudié par beaucoup de chercheurs expérimentalement et numériquement. Pour le cylindre circulaire, il est évident que le nombre de Reynolds joue un rôle important car l'emplacement de séparation varie en raison de sa forme arrondie et continue. Le cylindre rectangulaire, dans le cas de la section carrée, est l'exemple idéal pour un corps avec un haut degré de symétrie. Habituellement, dans le flux autour d'un cylindre carré, l'emplacement de la séparation n'est pas entièrement dépendant du nombre de Reynolds, car dans ce cas, l'emplacement de séparation est fixé sur les bords tranchants.

3-1 L'influence du nombre de Reynolds sur le cylindre a section carré :

Considérons un cylindre à section carrée de côté D , de longueur infinie et d'axe normal à la vitesse de l'écoulement à l'infini U_∞ . [3]

3-1-1 écoulement potentiel

Quand le nombre de Reynolds Re est très petit ($Re \ll 5$), l'écoulement autour de l'obstacle est un écoulement de Stokes. Il se comporte presque comme un écoulement potentiel (fluide parfait).

3-1-2 Ecoulement stationnaire

Pour $Re > 5$ (mais pas trop élevé), l'écoulement est stationnaire symétrique et on observe des recirculations au passage de l'obstacle. Il apparaît tout d'abord derrière l'obstacle deux tourbillons symétriques, puis, des recirculations apparaissent sur les bords d'attaque du carré en haut et en bas, Les longueurs de sillage tourbillonnaire peuvent alors être calculées en fonction du nombre de Reynolds.

3-2-3 Ecoulement instationnaire

Pour des nombres de Reynolds supérieurs à 45, l'écoulement est instationnaire, les tourbillons se détachent l'un après l'autre, et forment peu à peu l'allée caractéristique de Bénard-Karman, phénomène analogue à celui qui se produit pour un obstacle à section circulaire. Cette allée tourbillonnaire a été l'objet d'importantes recherches expérimentales de la part de Bénard, mais on doit à Von Karman l'étude théorique. Du fait de la dissymétrie de l'écoulement et de la périodicité du phénomène, il apparaît une fréquence d'émission des tourbillons f (visible sur l'évolution temporelle de chaque variable, par exemple les vitesses longitudinale et transversales en certains points choisis.

On construit alors le nombre sans dimensions de Strouhal tel que :

$$St = fD / U_\infty \quad (1-7)$$

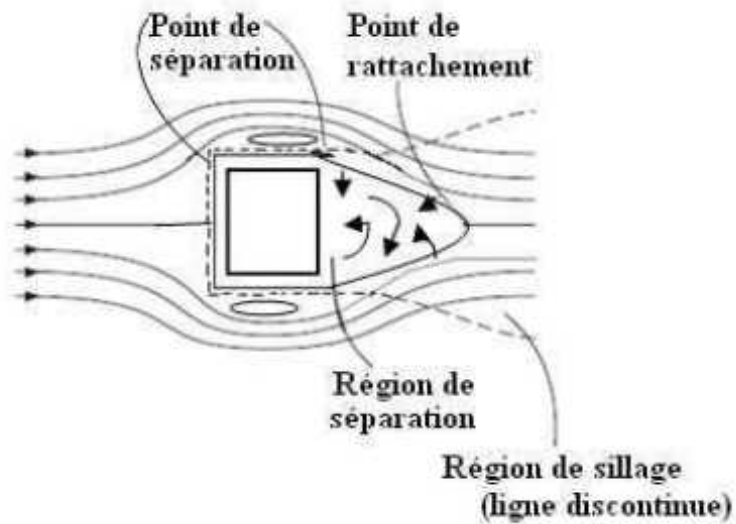


Figure (1-7) écoulement autours d'un cylindre a section carré

Pour un obstacle à section circulaire le nombre de Strouhal augmente en fonction du Re pour atteindre un palier Dans le cas de l'obstacle à section carré, St augmente, atteint un maximum, puis diminue pour atteindre un palier. Les valeurs Expérimentales et numériques sont très dispersées (jusqu'à 30% entre deux études expérimentales).

Chapitre mathématique

CHAPITRE 2 : LOIS MATHÉMATIQUES

Ce chapitre résume les lois mathématiques utilisées pour étudier notre cas, on s'intéresse à l'étude d'un écoulement rencontrant un obstacle carré et cylindrique placé sur le fond d'un canal

1-Généralité mathématique

Dans ce qui suit, seront décrites les équations traduisant le transport de masse et de quantité de mouvement régissant de tels écoulements avec simplifications nécessaires qui sont faites dans le code Fluent selon les cas étudiés.

En mécanique des fluides, en supposant que le fluide est un milieu continu, on peut utiliser les lois classiques de conservation : la conservation de masse (équation de continuité), et la conservation de la quantité de mouvement (équation de Navier-Stokes). Pour résoudre un problème de turbulence, il faut déterminer en tout point du domaine étudié les grandeurs physiques qui caractérisent le fluide et qui sont :

- le champ de vitesse.
- le champ de l'énergie cinétique turbulente
- le champ de dissipation de l'énergie cinétique turbulente.

Les écoulements considérés dans nos cas sont tridimensionnel turbulent ou Laminaire, instationnaire d'un fluide incompressible, sans transfert de chaleur. [20]

1-1 Equation du champ moyen

La décomposition de Reynolds est introduite dans les équations de Navier-stokes et les Équations régissant pour un fluide incompressible s'écrivent comme suit. [13]

1-1-1 La moyenne d'ensemble :

- On réalise N expériences indépendantes portant sur le même écoulement.
- On enregistre à la i^{e} expérience la valeur d'une même quantité à la même position en au bout du même temps, soit $f^{(i)}(x, t)$.

La moyenne d'ensemble de la quantité f à la position x et l'instant t est définie par :

$$\overline{f(x,t)} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N f^{(E)}(x,t) \quad (2.1)$$

1-1-2 La moyenne temporelle :

La moyenne temporelle est définie pour une seule expérience, une seule quantité à une seule position.

$$\bar{u}(x,j) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t u_j(x_j) dt \quad (2.2)$$

$$\bar{p} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t p dt$$

1-1-3 Notations :

Dans ce chapitre, on se limite aux équations valables pour un fluide (air) à masse volumique constante incompressible. Afin, d'explicitier clairement chaque terme, on exprimera les équations dans un système de coordonnées cartésiennes.

* coordonnées (x, y, z)

* vitesse (u_1, u_2, u_3)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.3)$$

1-2 Equations de quantité de mouvement (de Navier Stokes):

La loi de conservation de quantité de mouvement traduite par les équations de Navier-Stokes exprime tout simplement la loi fondamentale de la dynamique à un fluide Newtonien.

Les équations de quantité de mouvement écrites suivants x_i ($i = 1, 2, 3$) sont

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (2.4)$$

1-3 Décomposition statique

Pour résoudre ce système une approche statique est utilisée. Les grandeurs caractéristiques instantanées de l'écoulement turbulent seront décomposées selon les règles de Reynolds comme suit : le premier représente le mouvement d'ensemble et le second le mouvement fluctuant, soient :

$$\begin{aligned} u_i &= \bar{u}_i + u'_i, & \bar{u}' &= 0 \\ p &= \bar{p} + p', & \bar{p}' &= 0 \end{aligned} \quad (2.5 a)$$

En général : la quantité $f(x, t)$ est décomposée en deux parties distinctes :

$$f = \bar{f} + f' \quad (2.5 b)$$

f est la partie fluctuante

\bar{f} est la partie moyenne d'ensemble

1-3-1 Règles de Reynolds :

En utilisant les règles dites « règles de Reynolds Hinze (1975) qui sont les suivants:

$$\overline{\Phi'} = 0$$

$$\begin{aligned} \overline{\Phi} &= \bar{\Phi} \\ \overline{f\Phi} &= \bar{f}\bar{\Phi} \\ \overline{f+g} &= \bar{f} + \bar{g} \\ \overline{f\Phi'} &= \bar{f} \cdot \bar{\Phi}' = 0 \\ \overline{f\Phi'} &= \bar{f} \cdot \bar{\Phi}' + \overline{\Phi' \cdot f} \\ \frac{\delta \bar{\Phi}}{\delta} &= \frac{\delta \Phi}{\delta} \end{aligned} \quad (2.6)$$

1-3-2 Les tensions de Reynolds :

Le formalisme des règles de Reynolds conduit en prenant la moyenne de chaque équation aux équations de Reynolds.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{u}_i + u'_i) + (\bar{u}_j + u'_j) \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i + u'_i) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{p} + p') + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i + u'_i) \right) \quad (2.7)$$

On moyenne ensuite ces équations et après calcul, on retrouve l'équation de continuité et celle de chaque celle de Navier-Stokes moyenné.

1-3-3 Equation de continuité :(conservation de la masse)

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.8)$$

1-3-4 Equation de transport de quantité de mouvement

$$\bar{u}_j \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{(-\nu u'_i u'_j)} \quad (2.9)$$

Les équations de Reynolds moyennées obtenues font apparaître un nombre d'inconnues Supplémentaire $(\overline{u'_i u'_j})$ d'où la nécessité d'un modèle de turbulence afin de fermer le système d'équation à résoudre.

Nous présentons les géométries du problème pour tous les cas qu'on a, ensuite on présente le système des équations gouvernantes qui caractérisent le phénomène d'un écoulement turbulent dans un canal dérangé par un obstacle carré ou cylindrique sur le fond en utilisant le modèle de turbulence $k-\epsilon$ standard ainsi que le modèle SST. Et pour résoudre ce system, il faut nécessairement cerner le domaine d'étude par des conditions aux limites.

Pour étudier notre cas nous avons choisi de travailler avec Fluent. Afin de résoudre notre problème, il existe différents niveaux de modèles, se distinguant par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème: on parle ainsi de modèle de turbulence à zéro, une ou deux équations. Il existe également des méthodes de résolution plus complexes et plus onéreuses en ressources informatiques (simulation directe, Simulation à grandes échelles). Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à 2 équations, et plus particulièrement le modèle de turbulence dit $k-$ standard qui est de loin le plus répandu ainsi que le modèle SST qui est très utilisés aussi. [14]

2-Les modèles de turbulences :

Les deux modes qu'on a choisis se diffèrent par les calculs qui sont programmé, ainsi nous les avons choisis pour leurs avantages et inconvénients qui sont d'une manière globale les suivants [10].

2-1 Modèle de turbulence k-

Dans le code Fluent, il existe différents modèles de turbulence, qui se distingue par un nombre d'équation de transport supplémentaires nécessaires pour fermer le système d'équations du problème à résoudre. Dans notre cas, on a utilisé le modèle $k-$ standard qui est un modèle semi empirique basé sur le concept de Boussinesq reliant les contraintes de Reynolds au taux de déformation moyen C'est le meilleur modèle dans le cas où la couche de cisaillement est libre et dans le cas de non glissement au niveau des parois, il requière une faible mémoire afin d'obtenir une bonne convergence des résultats. Par contre Ce mode est inexact quand il s'agit de Précision pour les gradients de pression.

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho k \quad (2.10)$$

$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]$: est le tenseur de déformation

$K = \frac{\overline{u'^2}}{2}$ représente l'énergie cinétique turbulente.

Par analogie avec la viscosité laminaire caractérisée par une vitesse (des molécules) et une distance (le libre parcours moyen), la viscosité turbulente, caractérisée par une vitesse

\bar{k} Est une distance

$$l = \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\varepsilon}$$

Est donné par :

$$\nu_t = c_\mu \bar{k} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\varepsilon} = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

Avec $c_\mu=0,09$ et ε le taux de dissipation.

k et L sont obtenus à partir de leur équation de transport présentée ci-dessous.

a- Equation de transport de l'énergie cinétique turbulente k :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial}{\partial x_j} \right] + G_K - \rho \varepsilon \quad (2.12)$$

b- Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulent :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial}{\partial x_j} \right] + G_{\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_K - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.13)$$

σ_ε et σ_k sont respectivement les nombre de Prandtl turbulents relatifs aux taux de dissipation et à l'énergie cinétique turbulent, et l'ensemble des autres coefficients est déterminé de façon empirique.

$C_{1k} = 1,44$, $C_{2\varepsilon} = 1,92$ et $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $\sigma_k = 1,0$ Ces valeurs sont prises par défaut par Fluent. Le terme de production G_k est donnée par :

$$G_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_j} = \rho \nu_t \left[\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_i} \right] \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x_j} \quad (2.14)$$

2-1-1 Détails sur la procédure de résolution

Les équations qui gouvernent l'écoulement sont des équations aux dérivés partielles non Linéaires qui n'ont pas de solution analytique d'où la nécessité de faire appel à une méthode de résolution numérique. Dans notre cas, Fluent été utilisé, incorporant la méthode des volumes finis, basée sur :

- Une génération du maillage : division du domaine physique en volumes de contrôles.
- Une discrétisation de différentes équations par intégration sur des volumes de contrôles permettant d'obtenir ainsi un système d'équations algébriques pour chaque variable dépendante du problème à résoudre.

Pour la résolution de ceci, on utilise l'algorithme SIMPLE qui suit les étapes suivantes :

- Mettre à jour des propriétés du fluide.
- Mettre à jour le champ de vitesse, c'est-à-dire la résolution des équations de transport de quantité de mouvement de u, v, w, en utilisant les valeurs courantes de pression.
- Corriger la pression si les vitesses trouvées dans l'étape précédente ne satisfont pas l'équation de continuité.
- Résoudre les équations de transport de k et de ϵ en prenant compte des dernières valeurs trouvées dans ce qui précède.
- Tester la convergence, si celle-ci est atteinte, on arrête le processus de calcul. [18]

La discrétisation des équations régissant peut être illustrée simplement en considérant l'équation de transport d'une quantité scalaire, exprimée sous sa forme intégrale, en régime permanent par :

$$\iiint_V dV (\rho \Phi \vec{v}) \cdot \vec{n} = \iiint_V dV (I_\Phi \vec{g} \cdot \vec{n} - \nabla \cdot \vec{S}_\Phi) + \iiint_V S_\Phi dV \quad (2.15)$$

Où ρ = masse volumique

$\vec{v} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$ est le vecteur vitesse

I : Coefficient de diffusion de Φ

S_Φ = Source de Φ par unité de volume

En utilisant le théorème de Green Ostrogradski, les intégrales sur le volume peuvent être réécrites sous forme d'intégrale sur la surface enveloppant le volume, et l'équation (2-8) deviendra alors :

$$\iint_{\Sigma} (\rho \Phi \vec{V}) \cdot \vec{n} d\Omega = \iint_{\Sigma} (\Gamma_{\Phi} g - \Phi) \vec{n} d\Omega + \iiint_V S_{\Phi} d\Omega \quad (2.16)$$

Après intégration, l'équation (2-9) donne :

$$\sum_f^N \rho_f v_f \Phi_f A_f = \sum_f^N \Gamma_{\Phi} (V)_n \vec{A}_f + S_{\Phi} V \quad (2.17)$$

N faces=nombre de faces de la cellule.

Φ_f =valeur de Φ évaluée à la face.

$\rho_f v_f \Phi_f A_f$ =débit massique à travers la face.

\vec{A}_f =surface de la face.

$(V)_n$ =grandeur de V normale à la face.

S_{Φ} = source évaluée au centre du volume V.

V=volume de la cellule.

Les équations résolues par Fluent prennent la même forme générale que celle donnée ci-dessus et s'appliquent aux différentes mailles du volume de contrôle.

Le code Fluent stocke les valeurs discrètes de la grandeur scalaire Φ aux centres des cellules. Les valeurs de Φ_f sont exigées au niveau des faces pour les termes de convection de l'équation (2-9) et doivent être déterminées par interpolation à partir des valeurs du centre de la cellule. Ceci est accompli en utilisant le schéma décentré amont (upwind). « Upwinding » signifie que la valeur de la face Φ_f =lorsque le nombre de Peclet est supérieur à 2 est dérivée des quantités dans la cellule en amont. Fluent permet donc de choisir entre plusieurs schémas[20]

2-2 le modèle de turbulence SST :

Le modèle de transport shear-stress transport (SST) a été développé par Menter c'est un modèle plus précis que le précédent. Afin d'en arriver à ce modèle, le modèle k- ϵ a été combiné au modèle k- ω , le premier précis au niveau de l'écoulement le deuxième au niveau des parois ce qui a donné un modèle SST qui est plus fiable. Ce modèle est nettement plus précis que le mode précédent, il est donne des résultats juste au niveau des parois, Par contre les résultats rencontre une surestimation dans les zones à haute pression et il met plus de temps pour converger. [3]

2-2-1 Les équations de transports du modèle SST

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \overline{G_k} - Y_k + S_k \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (2.19)$$

2-2-2 Equation de diffusive :

a- Equation de diffusivité :

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (2.20)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}$$

b- équation de viscosité turbulente :

$$\mu_t = \frac{\rho}{\omega} \frac{1}{m} \frac{1}{\left[\frac{1}{\alpha} \frac{S_\omega}{u_1 \omega} \right]} \quad (2.21)$$

c- Nombre de Prandtl :

$$\sigma_k = \frac{1}{F_1/\sigma_{k,1} + (1-F_1)/\sigma_{k,2}} \quad (2.22)$$

$$\sigma_\omega = \frac{1}{F_1/\sigma_{\omega,1} + (1-F_1)/\sigma_{\omega,2}} \quad (2.23)$$

d- les fonctions de diffusives :

$$F_1 = \tanh\left(\frac{4}{1}\right) \quad (2.24)$$

$$1 = \min \left[\max \left(\frac{\bar{k}}{0.01 \omega}, \frac{5 \mu}{\rho y^2 \omega} \right), \frac{4 \rho}{\sigma_{\omega,2} D_\omega^+ y^2} \right] \quad (2.25)$$

$$D_\omega^+ = \max \left[2 \rho \frac{1}{\sigma_{\omega,2} \omega} \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_j}, 10^{-1} \right] \quad (2.26)$$

$$F_2 = \tanh\left(\frac{2}{2}\right) \quad (2.27)$$

$$2 = \max \left[\frac{\bar{k}}{0.01 \omega}, \frac{5}{\rho^2 \omega} \right] \quad (2.28)$$

2-2-3 Production du model de turbulence :

$$\overline{G_K} = \min(G_K, 10\rho \quad k) \quad (2.29)$$

$$G_{\omega} = \frac{\alpha}{\nu_t} G_K \quad (2.30)$$

$$\alpha_{\omega,1} = F_1 \alpha_{\omega,1} + (1 - F_1) \alpha_{\omega,2} \quad (2.31)$$

$$\alpha_{\omega,1} = \frac{\beta_{t,1}}{\beta_{\infty}} - \frac{k^2}{\sigma_{\omega,1} \sqrt{\beta_{\infty}}} \quad (2.32)$$

2-2-4 Les équations de dissipation :

$$Y_k = \rho \quad k \quad (2.33)$$

$$Y_k = \rho \quad ^2 \quad (2.34)$$

$$\beta_t = F_1 \beta_{t,1} + (1 - F_1) \beta_{t,2} \quad (2.35)$$

2-2-5 Diffusion croisée :

Cette fonction permet de combiner les deux modèles que sont k- et k- ω :

$$D_{\omega} = 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega,2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_j} \quad (2.36)$$

2-2-6 La valeur des constantes :

$$\sigma_{\omega,2} = 1.168 \quad \sigma_{\omega,1} = 2.0 \quad \sigma_{k,1} = 1.176 \quad \sigma_{k,2} = 1.0 \quad (2.37)$$

$$\alpha_1 = 0.31 \quad \beta_{t,1} = 0.075 \quad \beta_{t,2} = 0.0828$$

Finalement, nous aboutissons au modèle mathématique. Ce dernier est alors constitué d'un système d'équations, cerné par des conditions aux limites. Il s'agit d'un système complexe possédant des équations qui sont issues de la thermodynamique et de la mécanique des fluides. Les équations de bilan sont donc connues.

- la résolution analytique de ces équations n'est pratiquement jamais obtenue.

- les non linéarités qui sont apparus dans les équations sont principalement à l'origine des obstacles pour obtenir une solution analytique.

En effet, l'utilisation des méthodes numériques sera pratiquement nécessaire pour la

Résolution des équations de bilan. Pour notre problème, on a employé le logiciel

FLUENT basé sur la méthode des volumes finis, et pour la création de la géométrie et le maillage. [12]

Simulation numérique

CHAPITRE 3 : SIMULATION NUMERIQUE

1 – Généralité :

Ce chapitre résume la partie numérique de notre projet, comme cité précédemment, nous avons opté pour le logiciel Ansys Fluent qui correspond à ce que nous cherchons, soit l'étude des écoulements autour des géométries carré et cylindrique.

Ansys Fluent est un logiciel capable d'effectuer la modélisation physique d'écoulement, de turbulence, de transfert de chaleur et de réactions chimiques pour des applications industrielles allant de l'écoulement d'air autour d'une aile d'avion à la combustion dans une fournaise, de colonnes à bulle aux plateformes pétrolières, de la circulation sanguine à la fabrication de semi-conducteur, et du design d'une salle blanche jusqu'aux usines de traitement des eaux usées. Les modèles spéciaux permettent au logiciel de modéliser des cylindres de combustion, l'aéro-acoustique, les turbomachines et les systèmes multiphasés ont permis d'élargir son champ d'application.

ANSYS Fluent est le logiciel de dynamique des fluides (CFD) le plus puissant du marché il offre des fonctionnalités éprouvées de modélisation physique et fournit des résultats rapides et précis pour une très large gamme d'applications CFD et multi-physiques

Dans ce qui suit, seront décrits la construction de la géométrie de chaque cas étudié, la génération de son maillage ainsi que l'incorporation des conditions aux limites telles qu'elles ont été élaborées dans Fluent. [3]

1 –1 La méthode des volumes finis :

Pour un but de discrétiser les équations de la modélisation qu'on a vu lors du chapitre mathématique, Fluent utilise pour cela la méthode des volumes finis.

La méthode des volumes finis est caractérisée par son avantage à satisfaire la conservation de masse, de quantité de mouvement et de l'énergie dans tous les volumes finis ainsi dans tout le domaine de calcul. Elle facilite la linéarisation des termes non linéaires dans les équations de conservation telle que le terme source par exemple. La méthode consiste à partager le domaine de calcul en plusieurs volumes où chaque volume entoure un nœud. En utilisant différents schémas d'approximations, on peut intégrer les termes des équations différentielles

modélisantes sur chaque volume de contrôle où les valeurs et les quantités sont stockées aux nœuds du volume de contrôle. Ces équations algébriques produites expriment la conservation des quantités pour le volume de contrôle et pour tout le domaine de calcul. [18]

2- Les étapes de développement du projet sur Ansys CFD fluent :

Afin d'aboutir à nos résultats sur Fluent, on doit passer par des étapes qui nous permettront de construire notre projet, dans ce qui suit ces phases seront résumé :

2-1 L'édition de la géométrie

Plusieurs fonctionnalités dans le logiciel nous permettent de réaliser cette étape, pour notre projet nous avons opté pour le Design Modeler.

Design Modeler : est conçu pour être utilisé comme un éditeur de géométrie de modèles CAO existants. Design Modeler est un modélisateur paramétrique basé sur les caractéristiques conçu pour que vous puissiez commencer intuitivement et rapidement à dessiner des croquis en 2D, à la modélisation de pièces en 3D ou à l'ajout de modèles CAO 3D pour le prétraitement de l'analyse d'ingénierie.

Concernant notre cas Les deux configurations géométriques traitées sont présentées ci-dessous :

L'écoulement autour des obstacles cylindre et carrée 2D et 3D ont été simulé à l'aide du code de calcul Fluent, afin de construire notre projet nous avons créé la surface suivante :

- a- Domaine de calcul : on a choisi un rectangle de dimension 750mmx1200mm avec une entrée « inlet » et une sortie « outlet ».
- b- l'obstacle : carré avec une longueur de 40 mm, le cylindre avec un diamètre de 40 mm aussi la suivante, la relation entre la dimension des deux obstacles est la suivante
 $D = 4S/p$ ou D représente le diamètre hydraulique.
- c- L'obstacle dans le cas 3 D : exactement l même que le cas de la 2D sauf qu'on a ajouté l'extrusion à 0.1m

Les géométries qu'on a construit sont les suivantes :



Figure (3-1) géométrie d'un carré en 2D



Figure (3-2) géométrie d'un cylindre en 2D



Figure (3-3) géométrie d'un carré en 3D

2- 2 la construction du maillage :

Pour ce cas Ansys a son propre programme qui est l'ansys meshing

ANSYS Meshing : ANSYS Meshing est un produit polyvalent, intelligent et automatisé à haute performance. Il produit le maillage le plus approprié pour des solutions multiphysiques précises et efficaces. Un maillage bien adapté à une analyse spécifique peut être généré avec un simple clic de souris pour toutes les pièces d'un modèle. Des contrôles complets sur les options utilisées pour générer le maillage sont disponibles pour l'utilisateur expert qui veut l'affiner. La puissance du traitement parallèle est automatiquement utilisée pour réduire le temps que vous devez attendre pour la génération de maille.

Le maillage : est la discrétisation spatiale d'un milieu continu, ainsi qu'une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés fins et bien définis. L'objet d'un maillage est de procéder à une simplification d'un système par un modèle représentant ce système et, éventuellement, son environnement (le milieu), dans l'optique de simulations de calculs ou de représentations graphiques.

Avoir une meilleure précision des résultats par le solveur Fluent nécessite un maillage suffisamment raffiné de sorte que la solution soit indépendante du maillage [5]

2-2-1 Type de maillage :

Maillages structuré : sont les plus efficaces ils sont constitués de parallélogrammes en 2D, et de parallélépipèdes en 3D. Leur description est légère, avec un petit nombre de paramètres, il est possible de définir un maillage en entier, Leur modification est très aisée, d'une part par le peu de paramètres à modifier, et d'autre part par la possibilité d'utiliser des algorithmes de projection, Les calculs sont généralement plus rapides dans un maillage structuré que dans un maillage non structuré. Mais Sa mise en œuvre est difficile dans le cas d'une géométrie complexe.

Maillage non structure : Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition. Parmi ses avantages Peut être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments. Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tétra) sont très automatisés d'où un gain de calcul énorme, mais Engendre des erreurs numériques (diffusion numérique) qui peuvent être plus importantes si l'on compare avec le maillage structuré. [11]

Dans notre projet nous avons travaillé avec les paramètres de maillage suivants :

2-2-2 Construction du maillage général :

Nous avons modifié nos paramètres de maillage de tel sorte à obtenir un maillage qui correspond à notre géométrie et qui nous permet d'obtenir les bons résultats, ces paramètres sont la création du maillage de faces ainsi que la création du maillage des arrêts.

Les détails du maillage est le même dans les cas SST et K- pour les deux géométries :

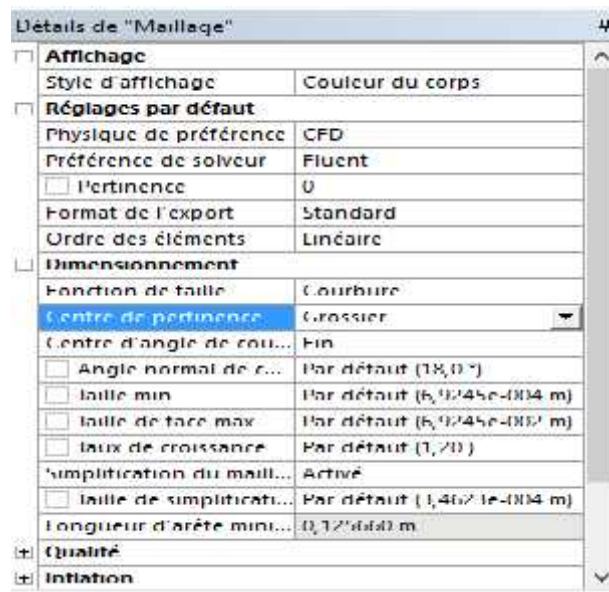


Figure (3-4) Détails du maillage dans le cas 2D avec le modèle SST et Reynolds 1600

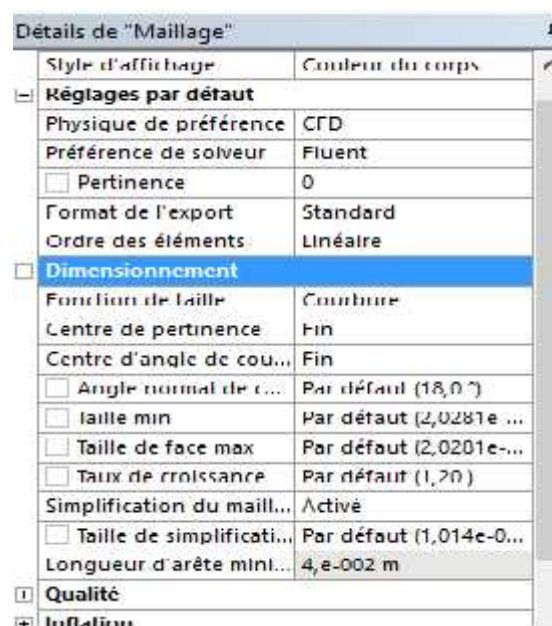


Figure (3-5) Détails du maillage dans le cas 2D avec le modèle k- et Reynolds 1600

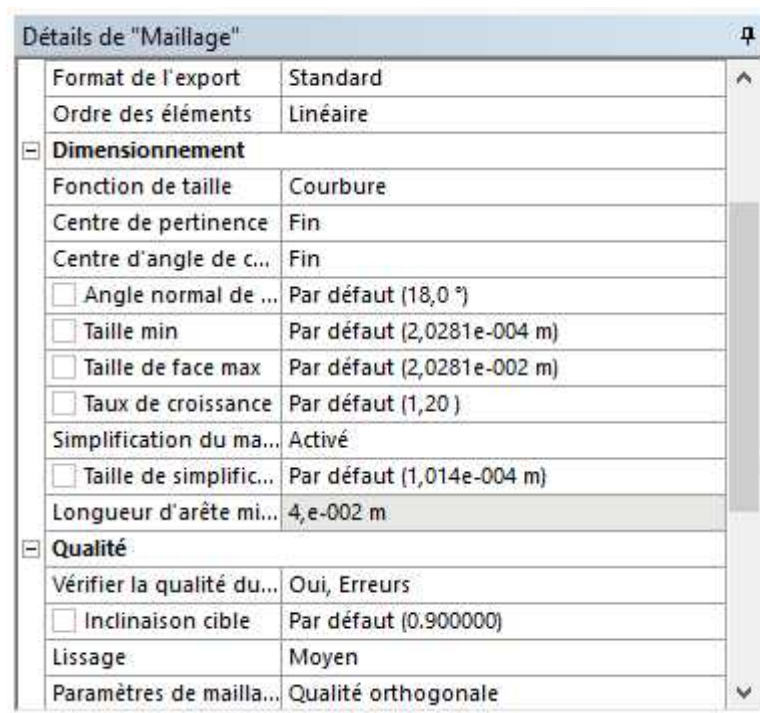


Figure (3-6) Détails du maillage 2D avec le modèle SST et Reynolds 75 ,100 , 125

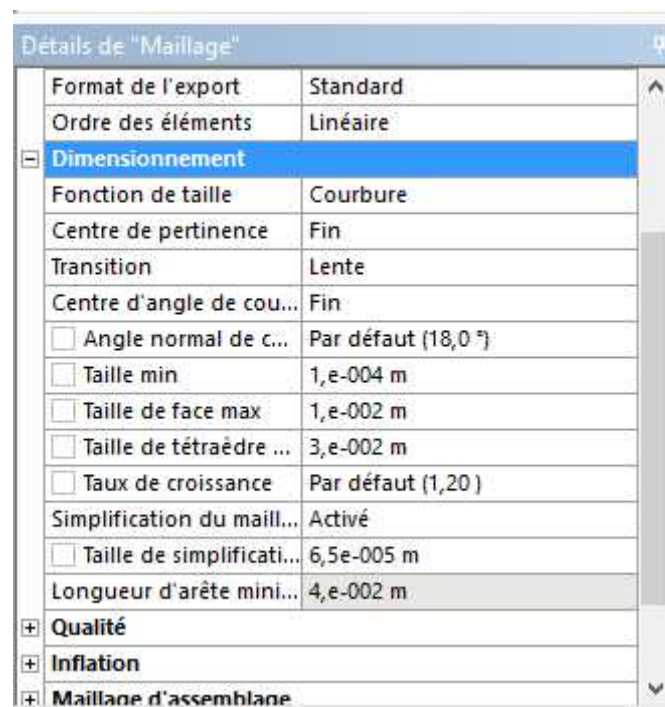


Figure (3-7) Détails du maillage dans le cas 3D avec le modèle SST et Reynolds 21 400

2-2-3 Création du maillage de la couche limite ou inflation :

Cette partie de configuration est très importante car elle nous permet de configurer la couche limite, là où le phénomène se produit, les paramètres qu'on a utilisés sont les suivants :

- a- Nombre de Reynolds : 1600 et « 75 ,100 , 125 » dans le cas 2D, 21 400 dans le cas 3D.
- b- Vitesse d'écoulement : 0.6 m/ s et 0.04 m/s en 2 D et 8.1 m/s en 3D obtenue à partir de Reynolds grâce à la formule suivante :

$$U_{\infty} = \frac{R_e \mu}{d \rho}$$

U_{∞} Représente la vitesse, R_e représente le nombre de Reynolds, μ viscosité dynamique, d diamètre, ρ la masse volumique de l'air

c – Épaisseur de la première couche :

Pour trouver cette épaisseur nous avons dû utiliser un programme de calcul qui est le CFD online, ce programme nous permet d'obtenir l'estimation de Y^+ qui représente la première couche du maillage.

Afin de calculer le Y^+ le CFD online utilise l'équation suivante :

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2}$$

Où C_f représente le coefficient de frottement τ_w est la contrainte de cisaillement, ρ est la densité du fluide et U est la vitesse du flux (habituellement pris à l'extérieur de la couche limite ou à l'entrée). [16]

Après avoir sélectionné les arêtes et configuré les paramètres nous aboutissons à l'inflation suivante :

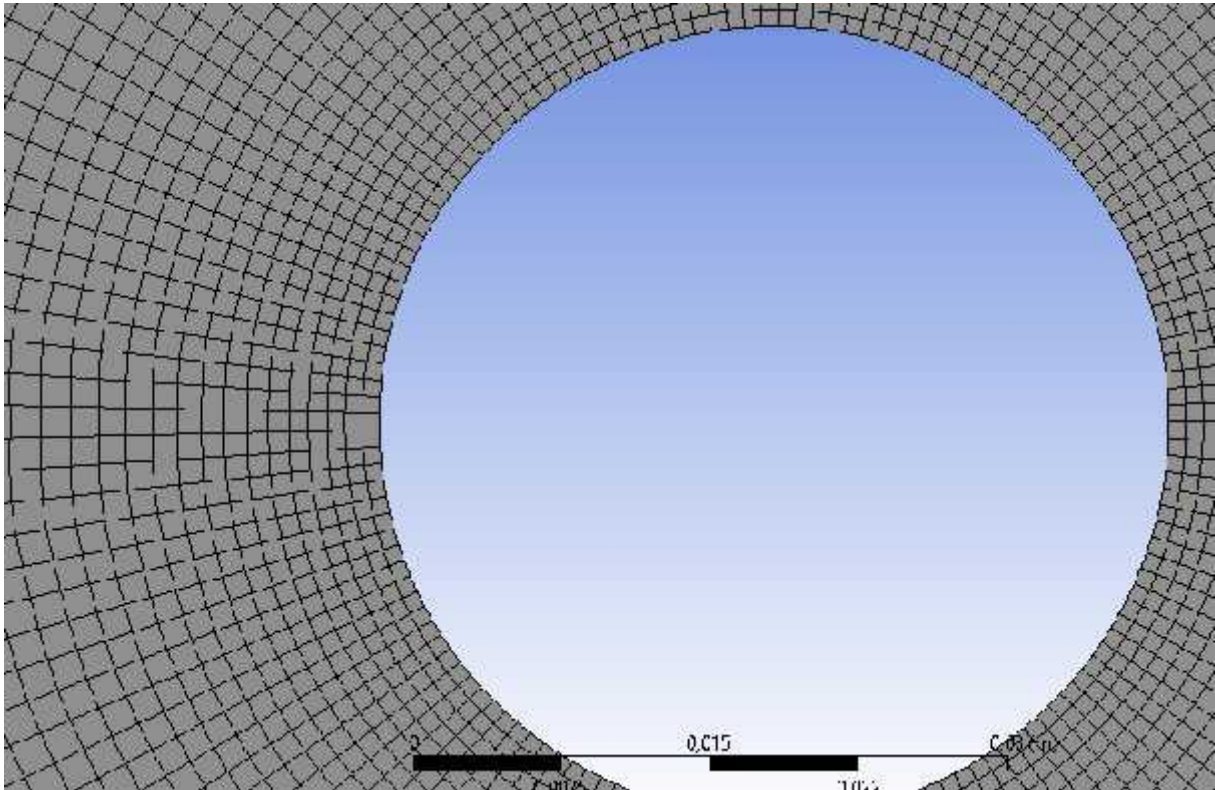


Figure (3-8) l'inflation dans le cas du cylindre en 2D avec le modèle SST

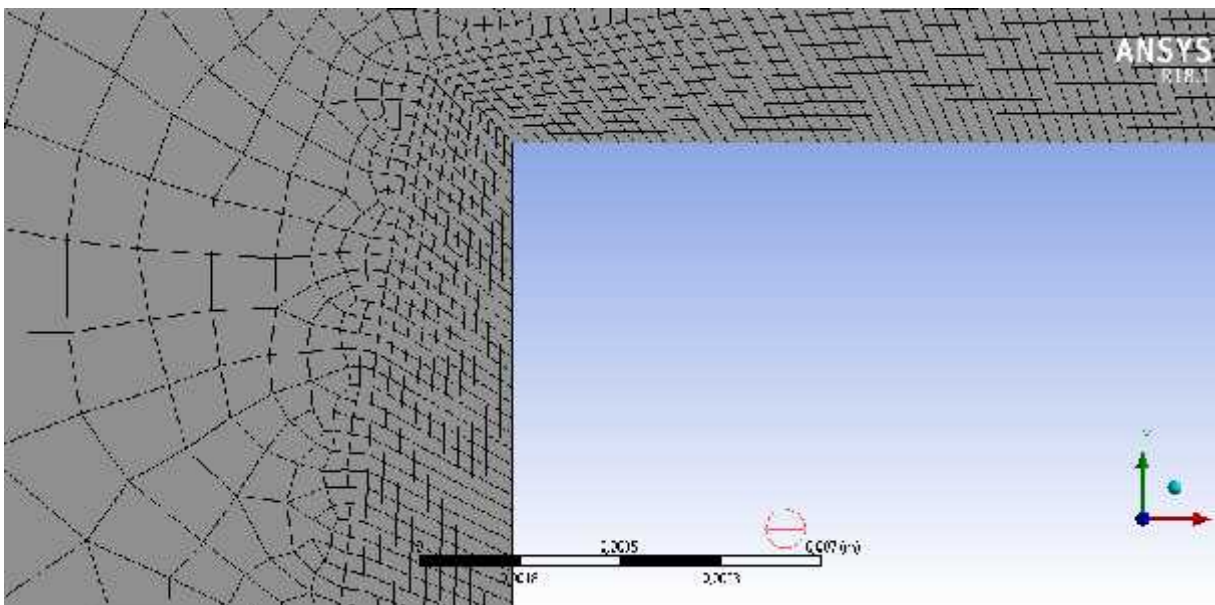


Figure (3-9) l'inflation dans le cas du carré en 2D avec le modèle SST

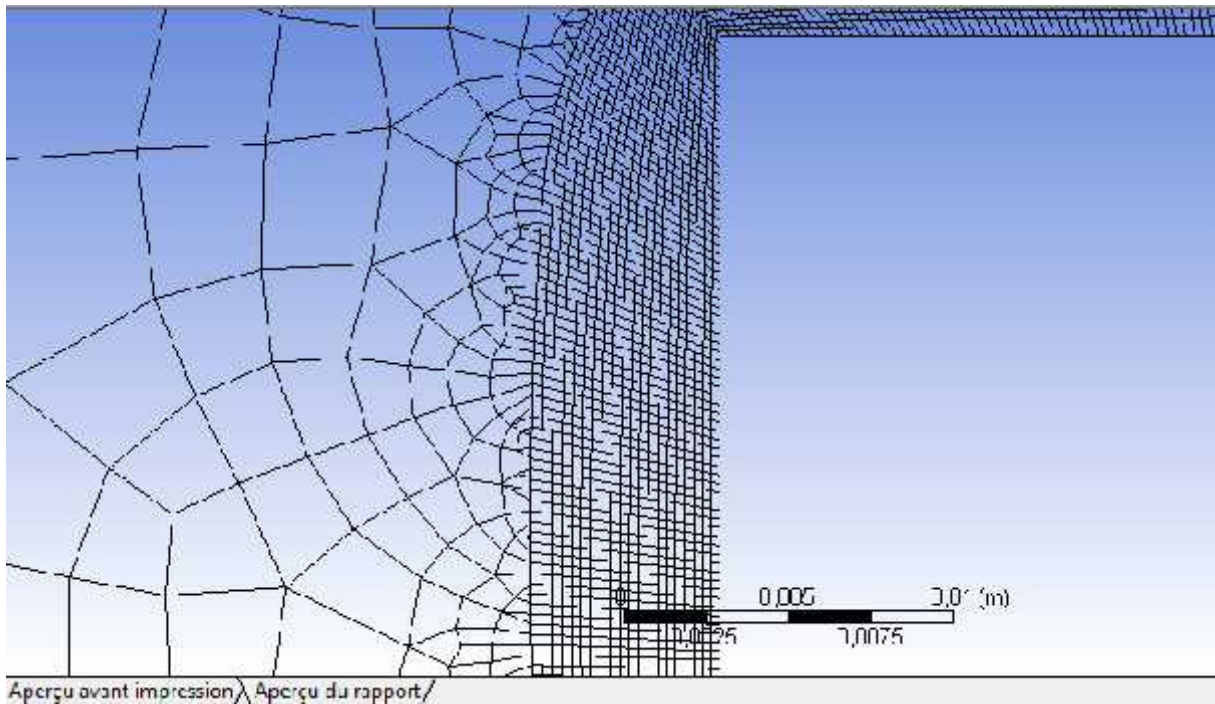


Figure (3-10) inflation dans le cas du carré 2D avec le modèle k-

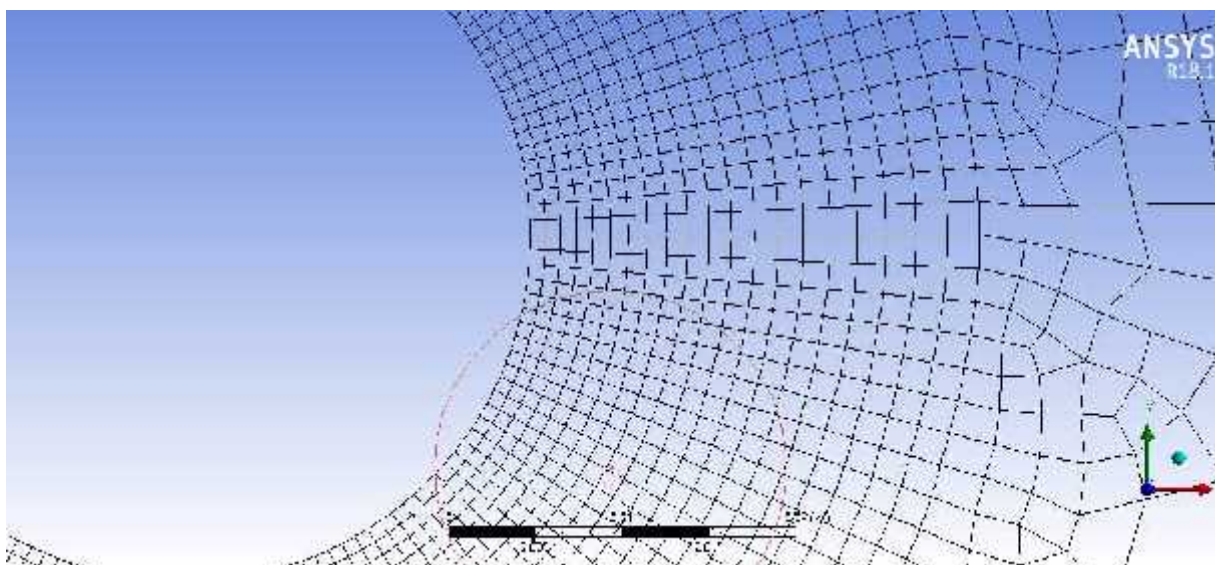


Figure (3-11) l'inflation dans le cas du cylindre 2D avec le modèle k-

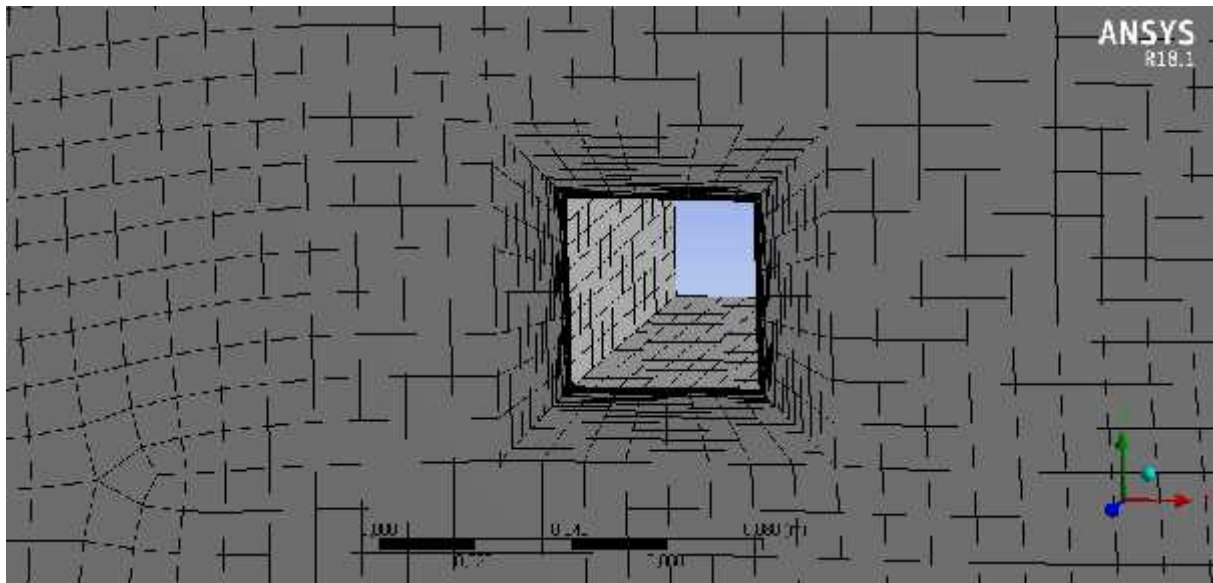


Figure (3-12) l'inflation dans le cas du carré 3D avec le modèle SST

Nb : Nous avons obtenu la même inflation dans le cas des différents Reynolds avec la même géométrie et le même modèle, soit Reynolds à 1600 et « 75 ,100 , 125 » en mode SST.

2-2-4 Qualité du maillage :

Après avoir finis nous avons abouti à la qualité du maillage suivante :

Détails de "Maillage"	
Qualité	
Vérifier la qualité du ...	Oui, Erreurs
<input type="checkbox"/> Inclinaison cible	Par défaut (0.900000)
Lissage	Moyen
Paramètres de maillage	Qualité orthogonale
<input type="checkbox"/> Min	0,66382
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Moyenne	0,99603
<input type="checkbox"/> Ecart type	1,7235e-002
Inflation	
Maillage d'assemblage	
Avancés	
Statistiques	
<input type="checkbox"/> Nœuds	14219
<input type="checkbox"/> Éléments	13941

Figure (3-13) qualité du maillage du cylindre 2D avec le modèle SST et Reynolds 1600



Figure (3-14) qualité du maillage du carré 2D avec le modèle SST et Reynolds 1600

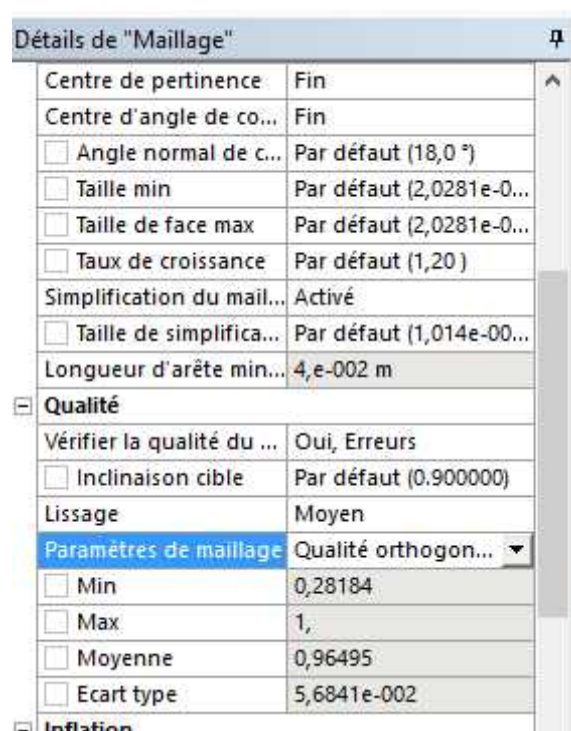


Figure (3-15) Qualité du maillage du carré 2D avec le modèle k- et Reynolds 1600

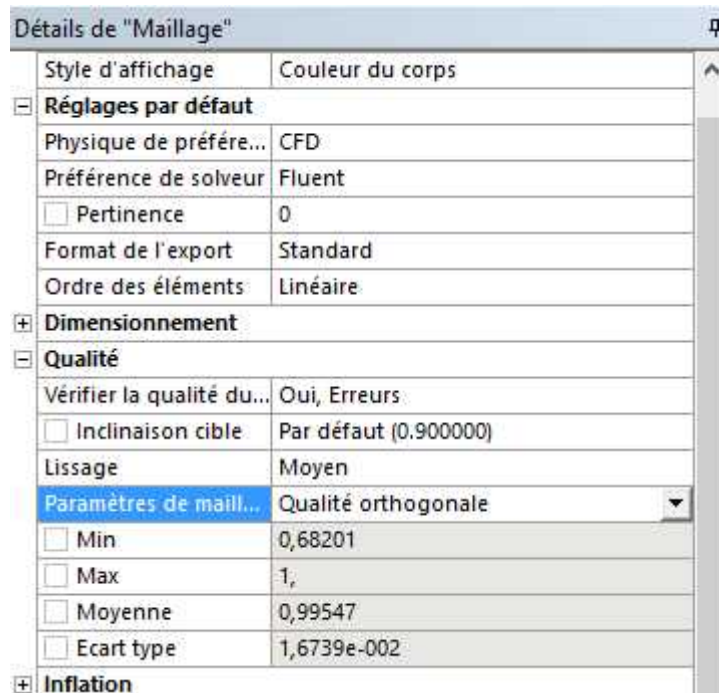


Figure (3-16) Qualité du maillage du cylindre 2D dans le cas k- et Reynolds 1600

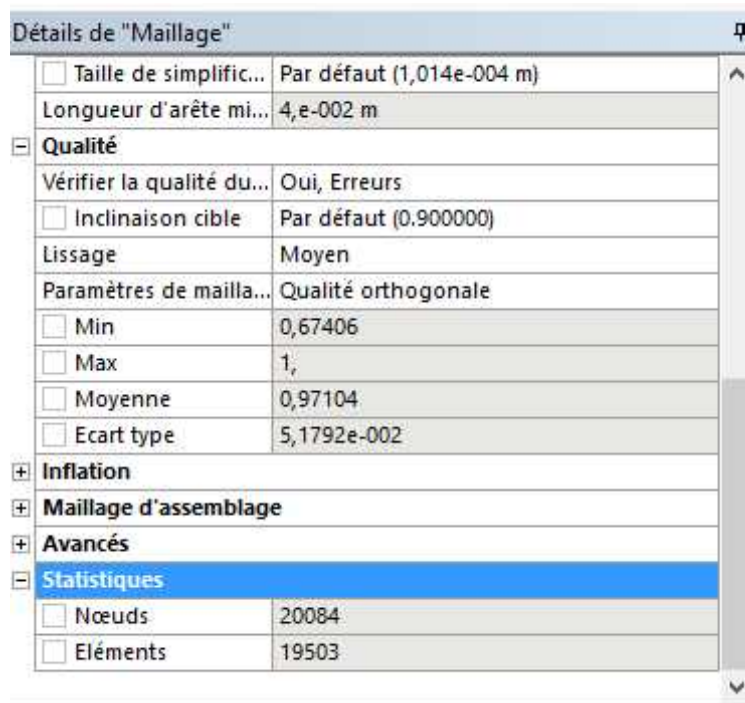


Figure (3-17) Qualité du maillage du carré 2D avec le modèle SST et Reynolds 75 ,100 , 125

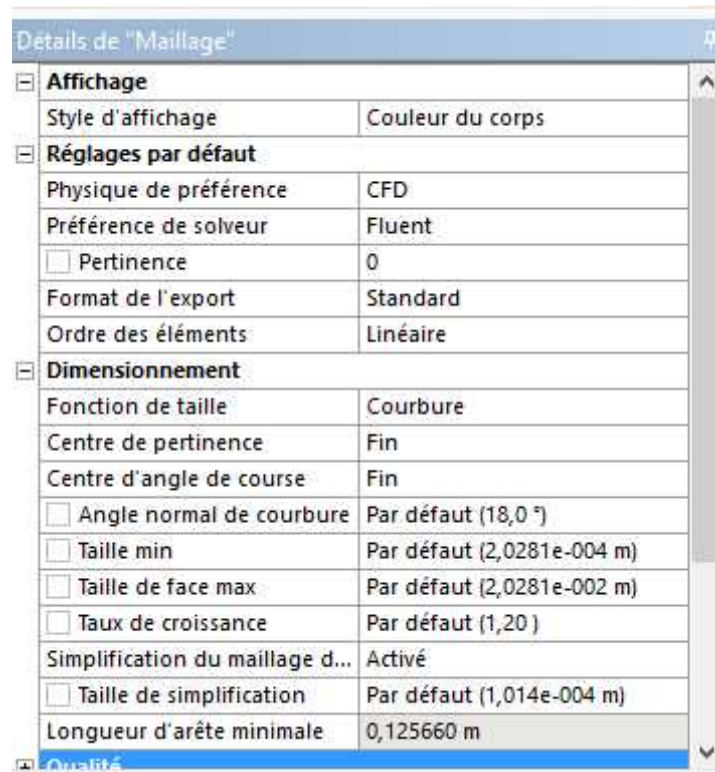


Figure (3-18) Qualité du maillage du cercle 2D avec le modèle SST et Reynolds 75 ,100 , 125

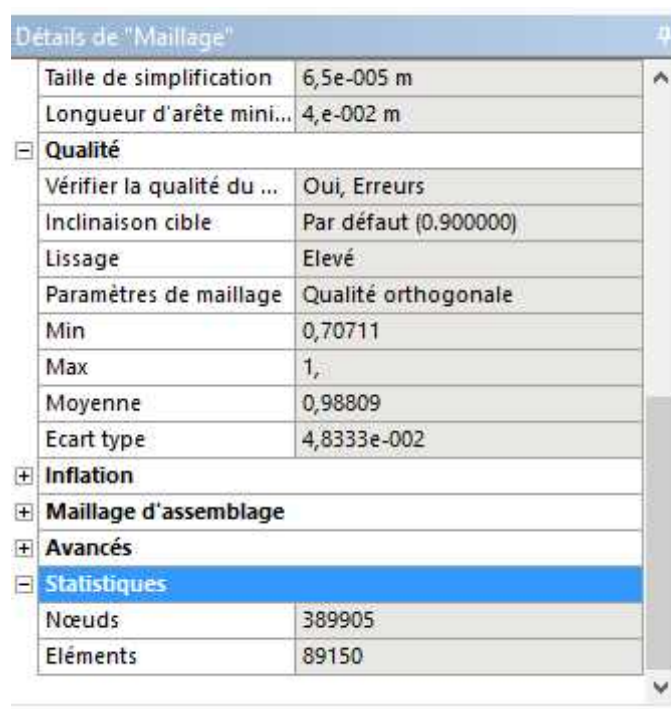


Figure (3-19) Qualité du maillage du carré dans le cas 3D en SST et Reynolds 21400

2-2-5 Vérification de la qualité du maillage

Les éléments du maillage de la pièce à étudier doivent respecter certains critères pour rendre la convergence des calculs la plus rapide possible et pour que des erreurs numériques ne puissent pas influencer la cohérence des résultats, pour cela on doit vérifier la qualité de notre maillage, selon le logiciel, on peut vérifier la qualité grâce à cette échelle. [3]

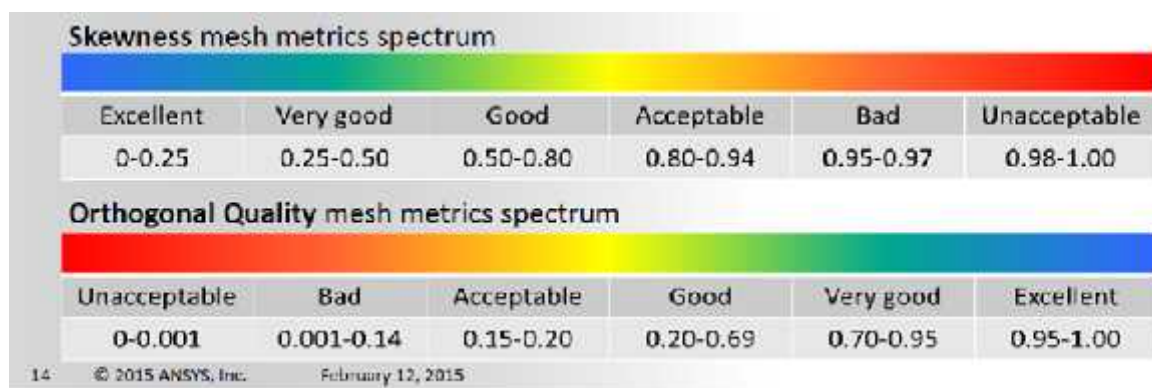


Figure (3-20) Echelle de vérification de la qualité du maillage selon CFX

Selon les résultats de notre qualité, et selon l'échelle mise au-dessus, nous pouvons déduire que la qualité de notre maillage est la suivante :

- Cas 2D SST pour Reynolds 1600 : Cylindre = bon
 Carré = bon
- Cas 2D SST pour Reynolds « 75 100 150 » : Cylindre = bon
 Carré = bon
- Cas 2D k- pour Reynolds 1600 : Cylindre = bon
 Carré = bon
- Cas 3D SST pour Reynolds 21400 : Carré = bon

2-2-6 Résultat final du maillage :

Nb : Nous avons obtenu le même maillage dans le cas des différents Reynolds avec la même géométrie et le même modèle, soit Reynolds à 1600 et « 75 ,100 , 125 » en mode SST.

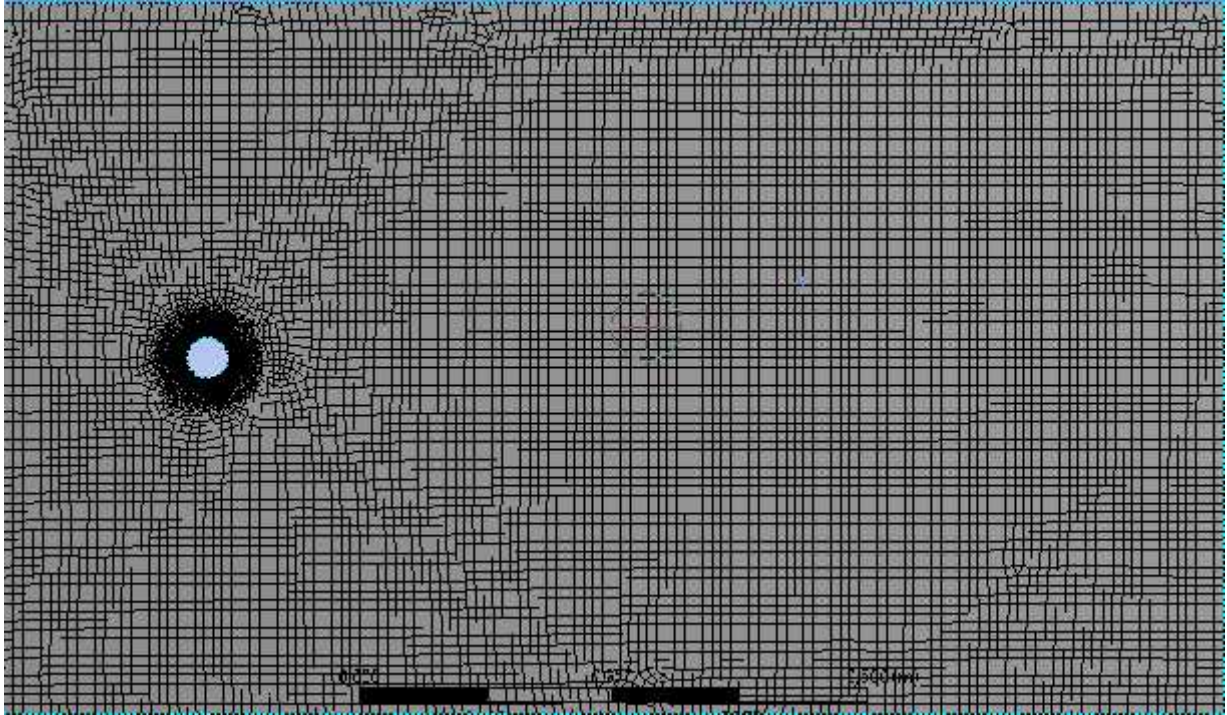


Figure (3-21) Résultat final maillage du cylindre en 2D avec le mode SST

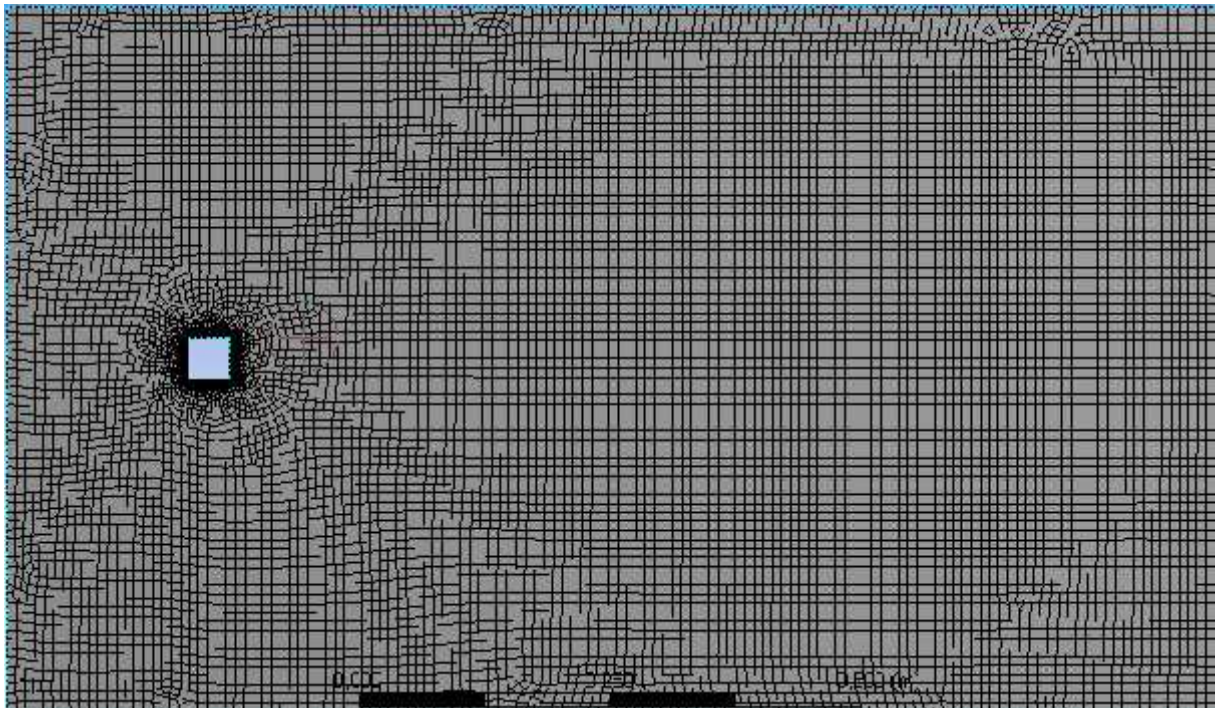


Figure (3-22) Résultat final du maillage du carré en 2D avec le mode SST

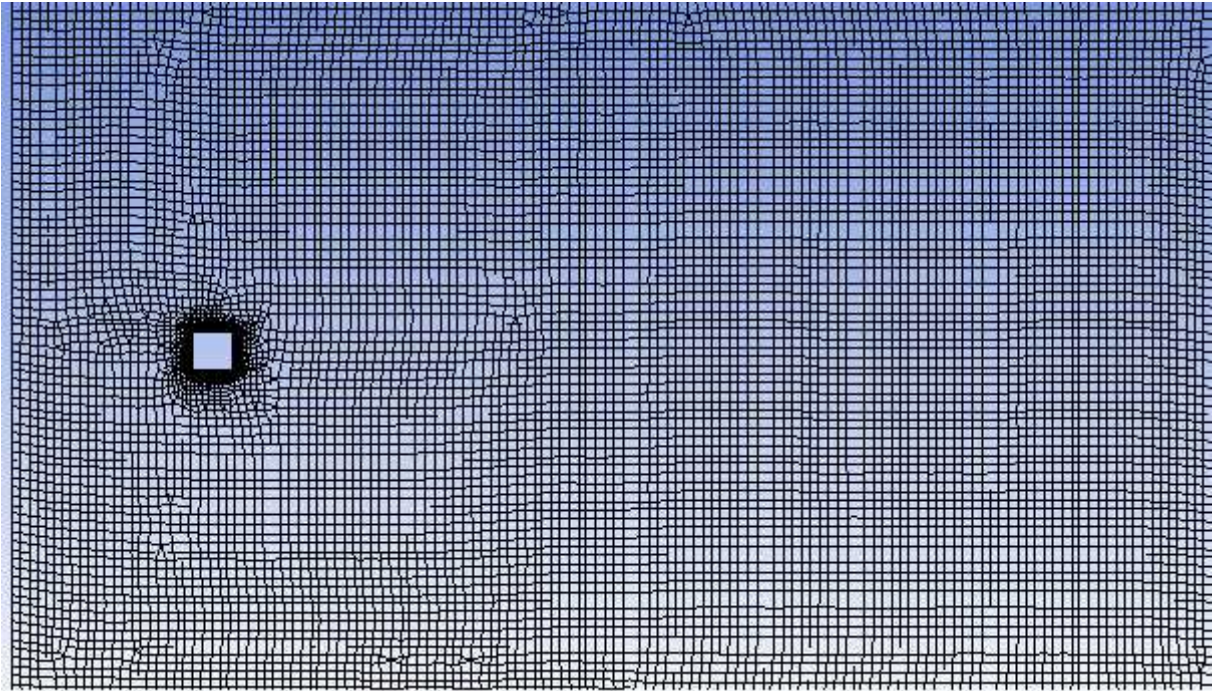


Figure (3-23) Résultat final du maillage du carré en 2D avec le mode k-

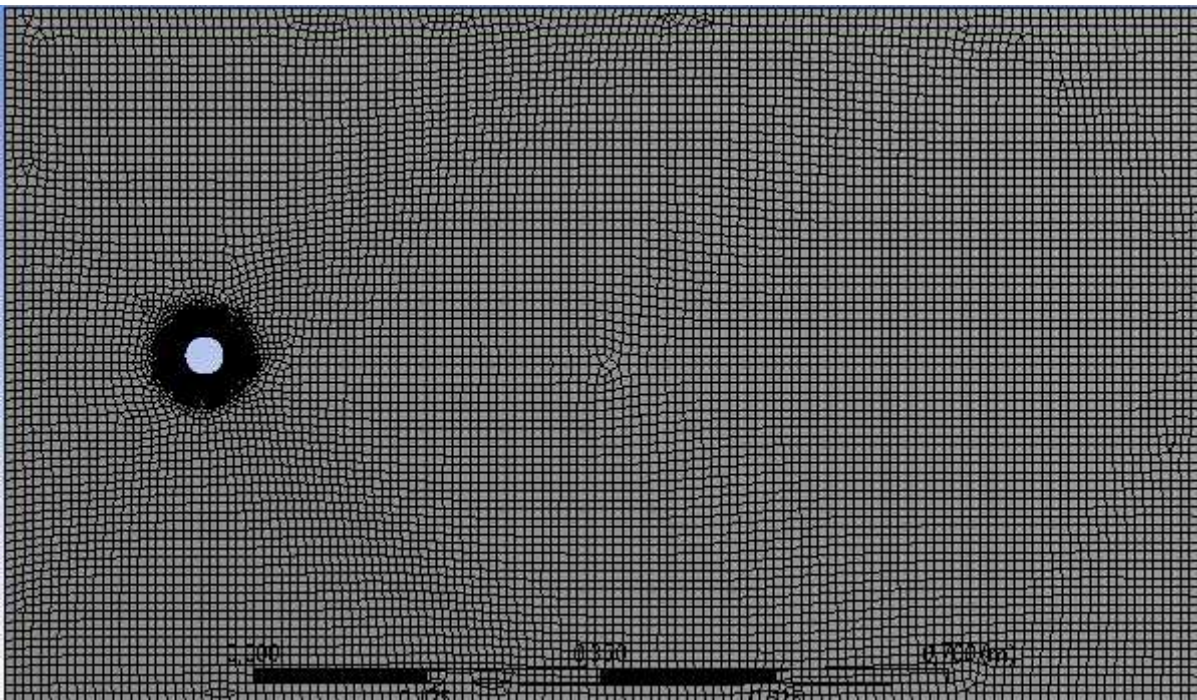


Figure (3-24) Résultat final du maillage du cylindre en 2D avec le mode k-

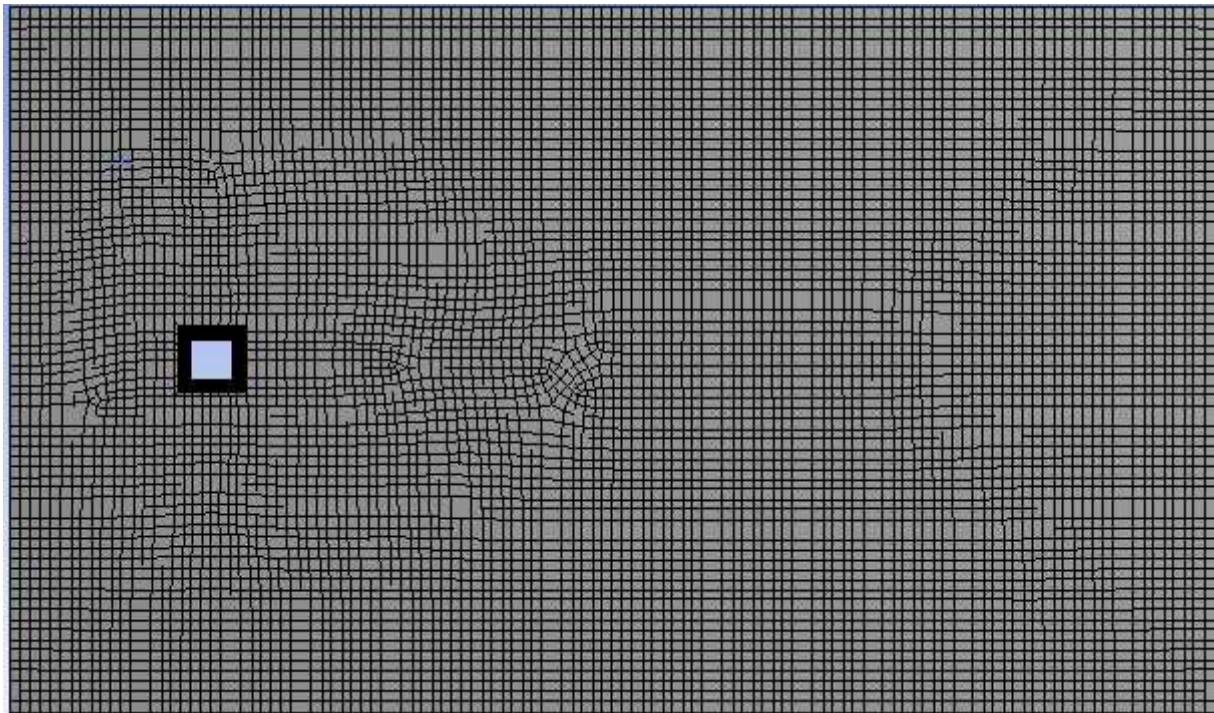


Figure (3-25) Résultat final du maillage du carré en 3D avec le mode SST

2-3 Configuration des données fluent

Dans cette étape on va rentrer les données de fluent dont on aura besoin pour le calcul, pour cela on utilise la rubrique « configuration »

Configuration ; cette partie du logiciel est une des plus importantes car elle nous permet de modifier les paramètres de calcul du code fluent

2-3-1 Généralité sur le code Fluent :

Fluent est un code de calcul qui permet de simuler les écoulements des fluides avec et sans les transferts thermiques dans des géométries complexes. Il peut résoudre des problèmes d'écoulement avec des mailles structurées et non structurées produites grâce à des géométries complexes avec une facilité relative. Les mailles supportées en 2D sont de types triangulaires ou quadrilatéraux. Elles sont tétraédriques/hexaédriques/pyramidales en 3D ou des mailles (hybrides) mélangées.

Le code "Fluent" est écrit en langage C et utilise pleinement la flexibilité et la puissance offertes par ce langage (allocation de la mémoire dynamique). En plus, il utilise une architecture qui lui permet de s'exécuter en tant que plusieurs processus simultanés sur le même poste de travail ou sur des postes séparés, pour une exécution plus efficace.

"Fluent" s'utilise à travers une interface graphique très simple. L'utilisateur avancé peut adapter ou augmenter l'interface en écrivant des macros et des fonctions de menu afin d'automatiser certaines procédures. Ainsi, il a la capacité de modéliser:

- Les écoulements 2D ou 3D.
- Etats permanents ou transitoires
- Ecoulements incompressibles ou compressibles incluant toute vitesse de régimes
- Ecoulements non visqueux, visqueux, laminaires ou turbulents
- Les écoulements dans les milieux poreux

Ce code de calcul utilise la méthode des volumes finis comme dit précédemment. La discrétisation des équations intégrales qui gouvernent l'écoulement, tels que l'équation de continuité, l'équation de la quantité de mouvement et l'équation d'énergie associées à d'autres scalaires dépendants de la nature de l'écoulement, est faite en se basant sur la technique du volume de contrôle. Elle consiste à:

- La division du domaine en des volumes de contrôle discrets en utilisant un maillage de cellules.
- L'intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels afin de d'établir les équations algébriques pour les variables dépendantes discrètes (les inconnues), telles que les vitesses, les pressions, les températures et les scalaires conservés.
- La linéarisation des équations discrétisées et solution du système d'équations linéaires résultant pour pouvoir adapter les valeurs des variables dépendantes

Le code Fluent nous permet de choisir le schéma de discrétisation pour les termes convectifs de chaque équation gouvernante (le second ordre est automatiquement le plus utilisé pour les termes visqueux). Pour nos simulations, le schéma second ordre.

upwind a été choisi. Le schéma du premier ordre est facile à converger mais les résultats ne reflètent pas assez la réalité physique. Malgré sa difficulté pour atteindre la convergence, le schéma du second ordre donne de très bons résultats [14].

a-Initialisation

Avant de commencer les simulations, nous devons implémenter une estimation initiale de la solution du champ d'écoulement. Le choix adéquat des conditions initiales permet d'atteindre une solution stable et une convergence accélérée

b-méthode de la solution

Les problèmes des écoulements permanents sont souvent résolus par un processus pseudo temporel ou un schéma itératif équivalent puisque les équations sont non linéaires. Un schéma itératif est utilisé pour les résoudre (Ferziger et Peric, (2002)).

Ces méthodes utilisent une linéarisation successive des équations et les systèmes linéaires résultants sont généralement résolus par des techniques itératives. La méthode suivie pour atteindre la solution doit avoir certaines propriétés qui sont brièvement résumées dans ce qui suit:

b-1 La consistance: La discrétisation doit être exacte quand Δx (incrément dans l'espace) tend vers zéro, l'erreur de troncature est la différence entre l'équation discrétisée et la solution exacte. Pour qu'une méthode soit consistante, l'erreur de troncature doit tendre vers zéro quand le Δx tend vers

b-2 la stabilité : La méthode ou le schéma de discrétisation est stable quand il n'amplifie pas les erreurs au cours du processus de la solution numérique.

b-3 la convergence : Pour les problèmes non linéaires qui sont fortement influencés par les conditions aux limites, la convergence et la stabilité sont généralement atteints et contrôlés en utilisant de l'expérimentation numérique.

b-4 la conservation : Puisque les équations à résoudre obéissent aux lois de conservation, le schéma numérique doit être aussi. Ceci veut dire que les quantités conservées qui quittent un volume fermé doivent être égales aux quantités entrantes dans le cas stationnaire. Cette propriété est très importante puisqu'elle impose une contrainte sur l'erreur de la solution.

b-5 Bornes à ne pas dépasser : la solution numérique doit être liée à ses propres limites (bornes), les quantités physiquement non négatives telles que la densité et l'énergie cinétique turbulente doivent toujours être positives. Cette propriété est difficile à garantir surtout quand les mailles sont grossières. Les schémas du premier ordre garantissent parfois cette propriété.

b-6 Réalisabilité : Les modèles des phénomènes qui sont très difficiles à traiter directement (par exemple, la turbulence, la combustion, ou l'écoulement bi phasique) doivent être désignés pour garantir la réalité physique des solutions. Ce n'est pas une issue numériquement intrinsèque mais les modèles qui ne sont réalisables peuvent avoir comme conséquence des solutions non physiques ou bien causer la divergence pour des méthodes numériques.

b-7 Exactitude : Les solutions numériques des problèmes d'écoulement de fluide et du transfert de chaleur sont des solutions approximatives. En plus aux erreurs qui peuvent être introduites au cours du développement de la solution de l'algorithme, en programmant ou en introduisant les conditions aux limites, il ya inclusion de trois types d'erreurs systématiques:

-Erreurs dues à la modélisation qui sont définies comme étant la différence entre l'écoulement actuel et la solution exacte du modèle mathématique.

- Erreurs dues à la discrétisation et définis comme étant la différence exacte entre la solution exacte des équations de conservation et la solution exacte du système d'équations algébriques obtenues par discrétisation de ces dernières.

- Erreurs dues à l'itération définies comme étant la différence entre les solutions itératives et exactes du système d'équations algébriques. [14]

2-3-2 Configuration de fluent :

L'étape de configuration de Fluent dispose de plusieurs paramètres modifiables qui sont les suivant :

a- General : nous permet de modifier quelques généralité tel que le temps, la vitesse, le type du régime.

Pour le cas de la 2D SST les deux configurations des deux géométries sont pareilles :

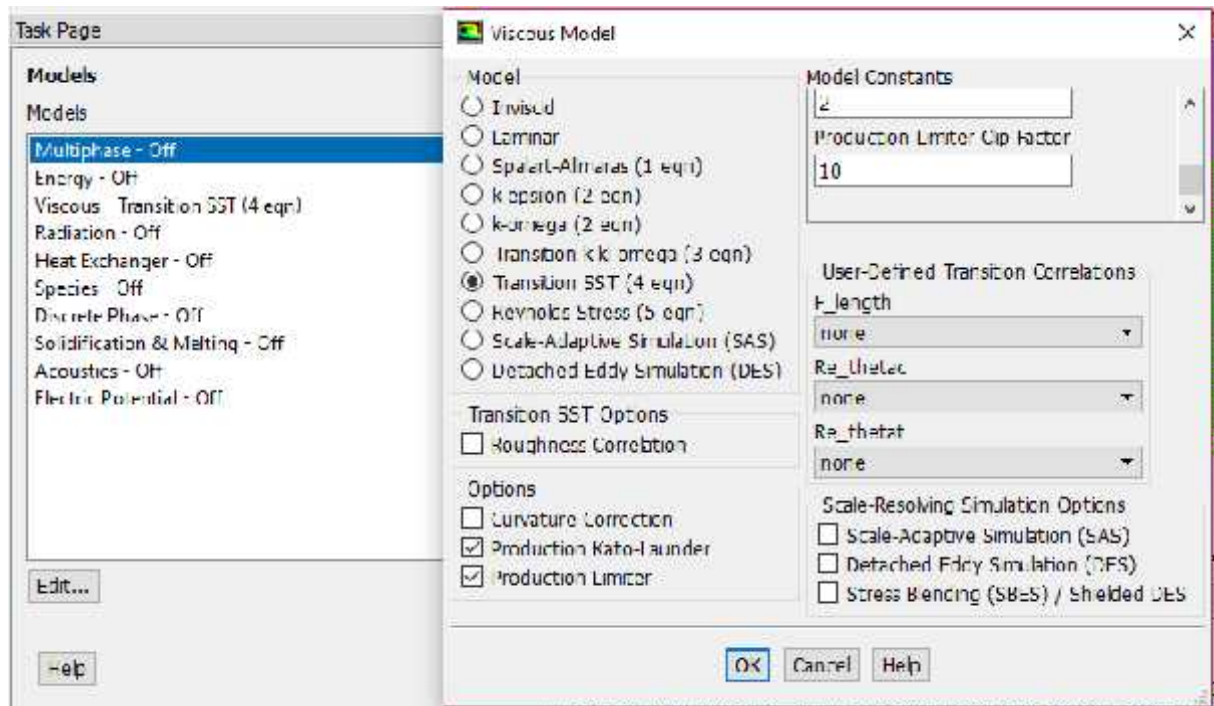


Figure (3-26) configuration du model des géométries 2D en SST

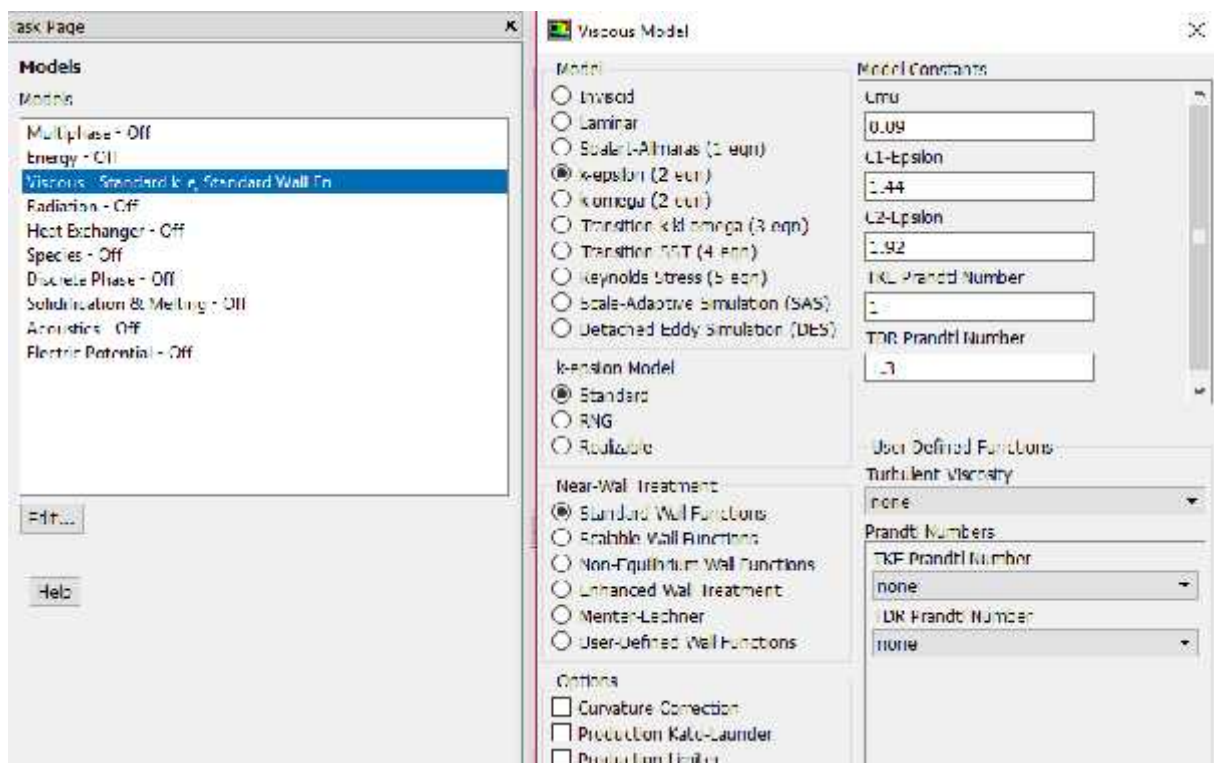


Figure (3-27) configuration du model des géométries 2D en k-

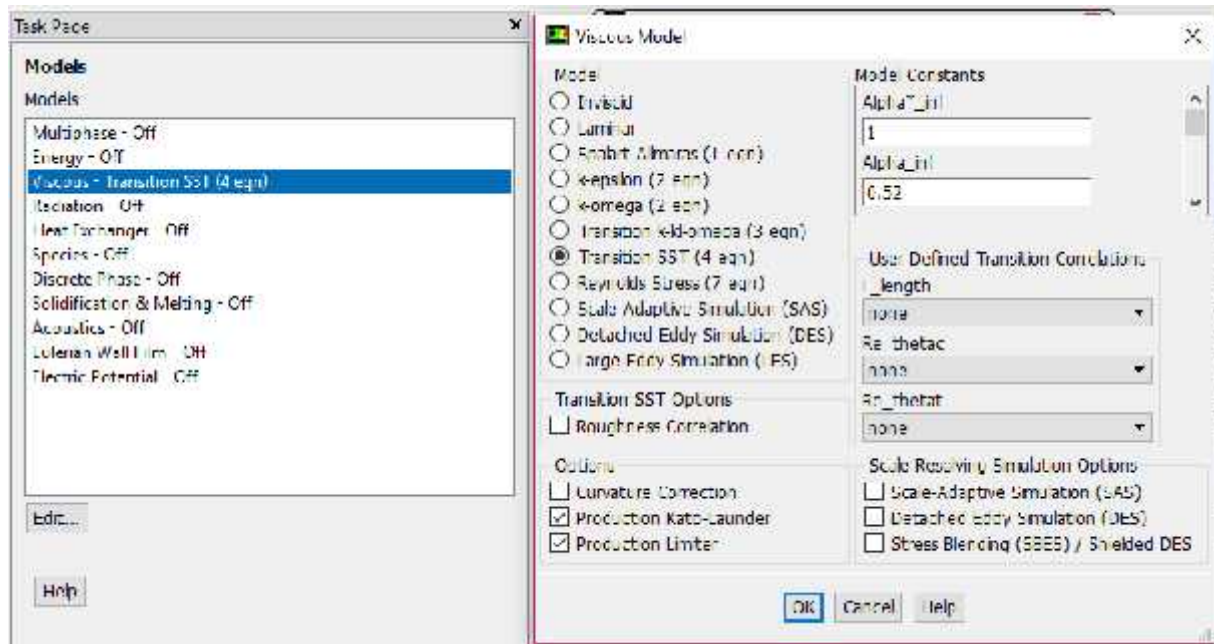


Figure (3-28) configuration du model des géométries 3D en SST

- b- Matériel** : la composition des matériaux avec lesquelles on a travaillé et qui sont obstacle solide, le domaine de calcul composé de d'air.
- c- Bondery condition** : permet de faire rentrer les paramètres des couches limites de la géométrie tel que la vitesse, la pression... etc.

Inlet	V=0,04
Outlet	P atmosphérique
Wal	No slip
cylinder	No slip

Exemple de condition aux limites du carré 2D à $Re = 1600$

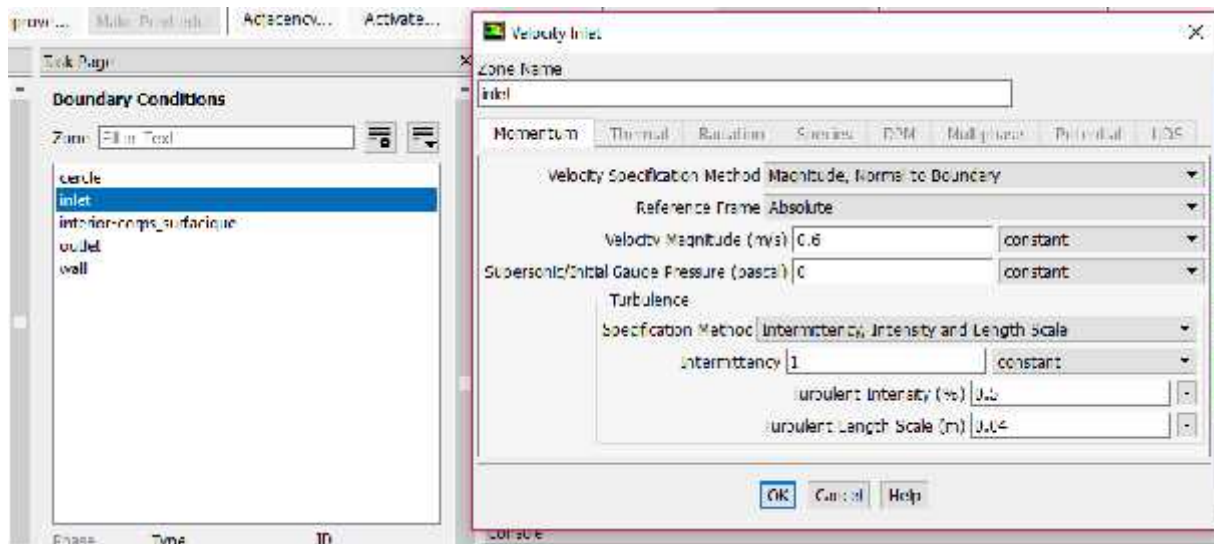


Figure (3-29) configuration des conditions limites dans le cas de la 2D avec Reynolds 1600

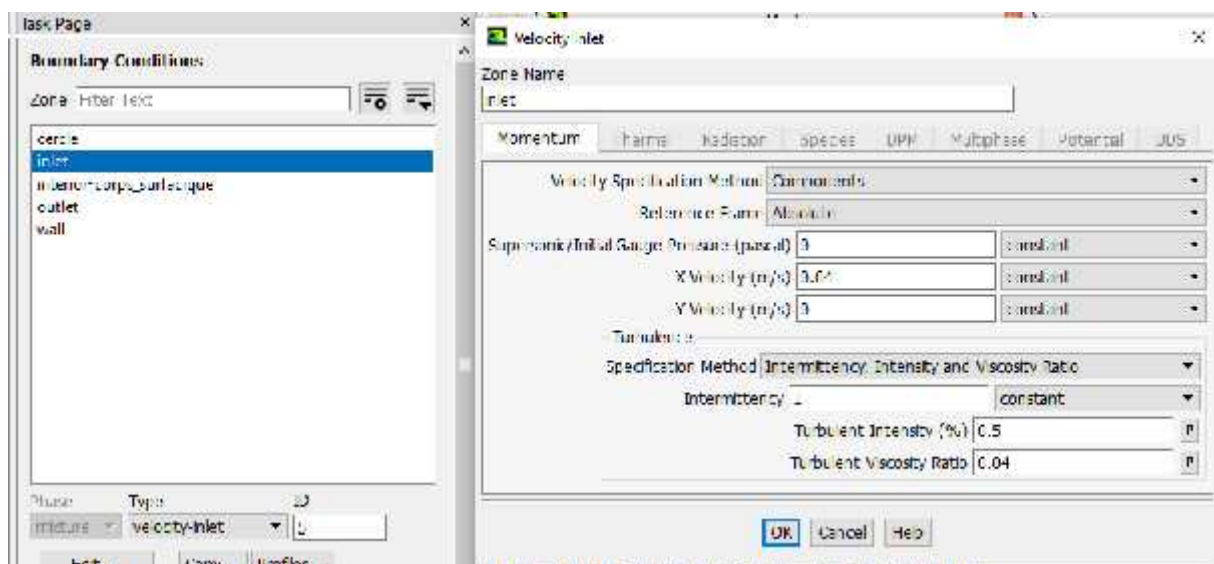


Figure (3-30) configuration des conditions limites dans le cas de la 2D avec Reynolds 100

Nb : Nous avons configuré de même la manière dans le cas des nombres de Reynolds 75 et 150, nous avons juste modifié la vitesse.

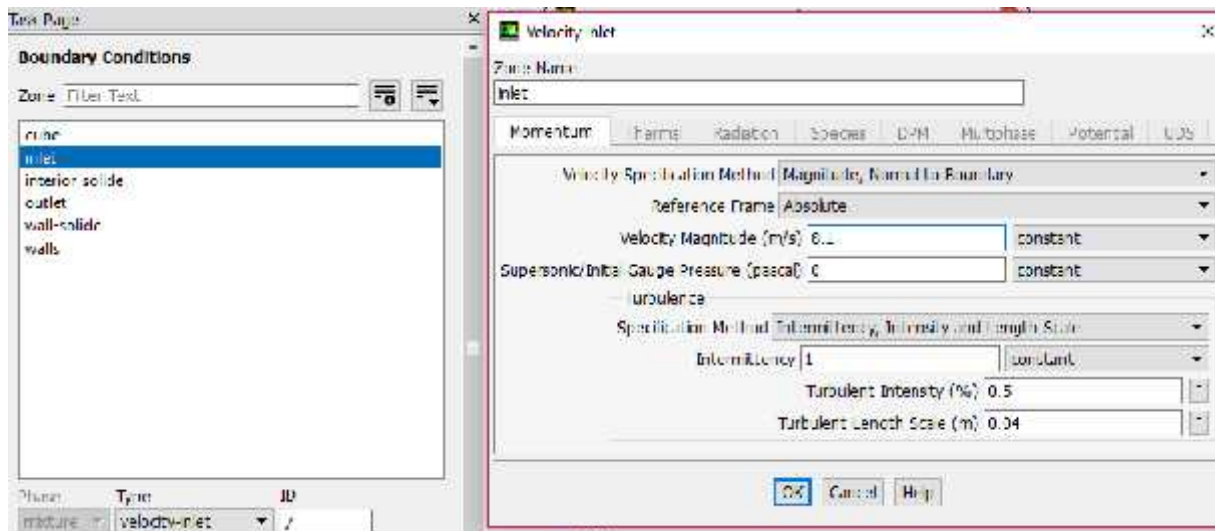


Figure (3-31) configuration des conditions limites dans le cas de la 3D

d- Run calculation : cette étape permet de faire rentrer les détails de calculs qui sont les mêmes pour tous nos cas.

Nb : Nous avons configuré de même la manière dans le cas des nombres de Reynolds 75, 100 et 150 avec 1600.

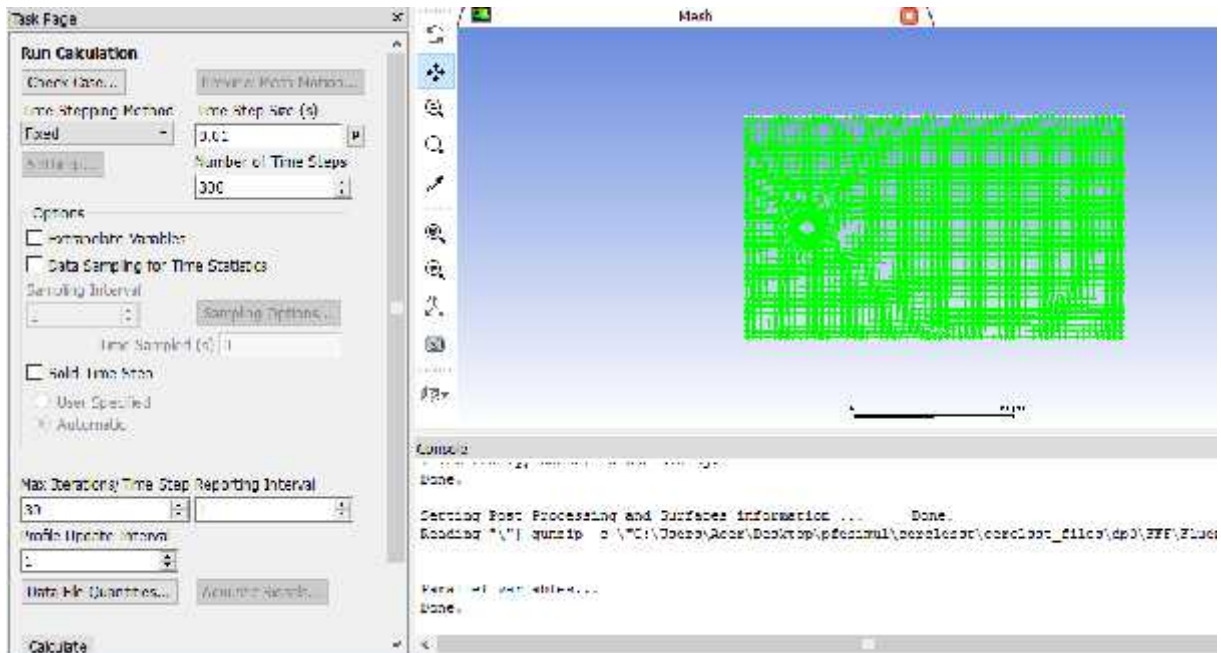


Figure (3-32) configuration des paramètres de calcul dans le cas du cylindre en 2 D

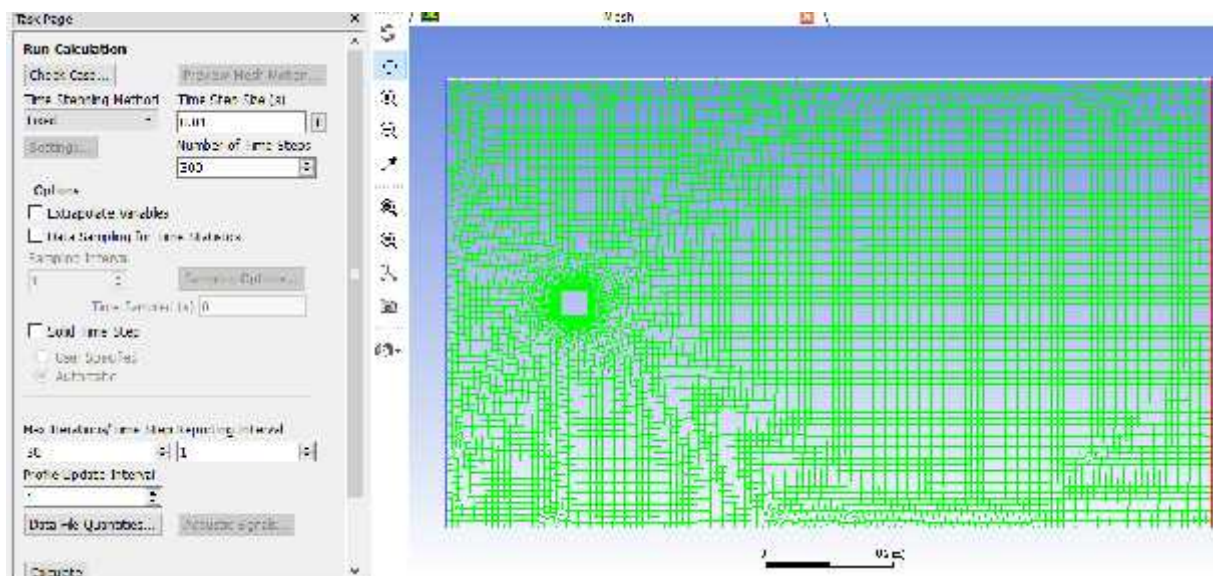


Figure (3-33) configuration des paramètres de calcul dans le cas du carré en 2D

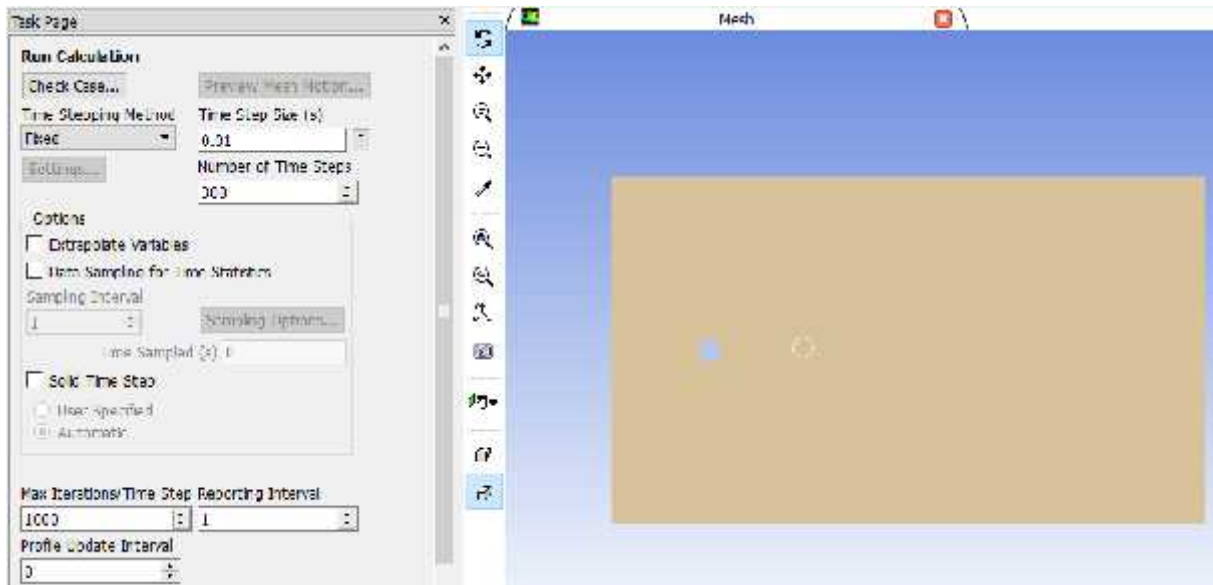


Figure (3-34) configuration des paramètres de calcul dans le cas du carré en 3D

Après avoir fini de configurer fluent, on lance les calculs afin d'obtenir les résultats de notre simulation. Le logiciel permet d'obtenir des graphes, des animations qui seront discutés dans le chapitre suivant.

Résultats et discussions

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre a pour objectif, l'analyse et l'interprétation des résultats, Nous présentons dans ce chapitre ce qu'on a obtenu après les calculs de la simulation numérique obtenus par le code Ansys Fluent. Notre problème porte sur l'étude du comportement dynamique d'un écoulement turbulent dérangé par un obstacle carré et cylindrique placé sur le fond d'un canal.

Les géométries considérées et les conditions aux limites ont été présentées dans le deuxième chapitre. Ainsi que la distribution des points du maillage et la simulation numérique ont été faite respectivement dans le solveur Fluent.

Nous analyserons les effets agissant sur nos différents travaux, soit les résultats des différents modèles, géométrie et configuration.

1-Cas du cylindre et carré 2D et nombre de Reynolds 1600 :

1-1 visualisation générale :

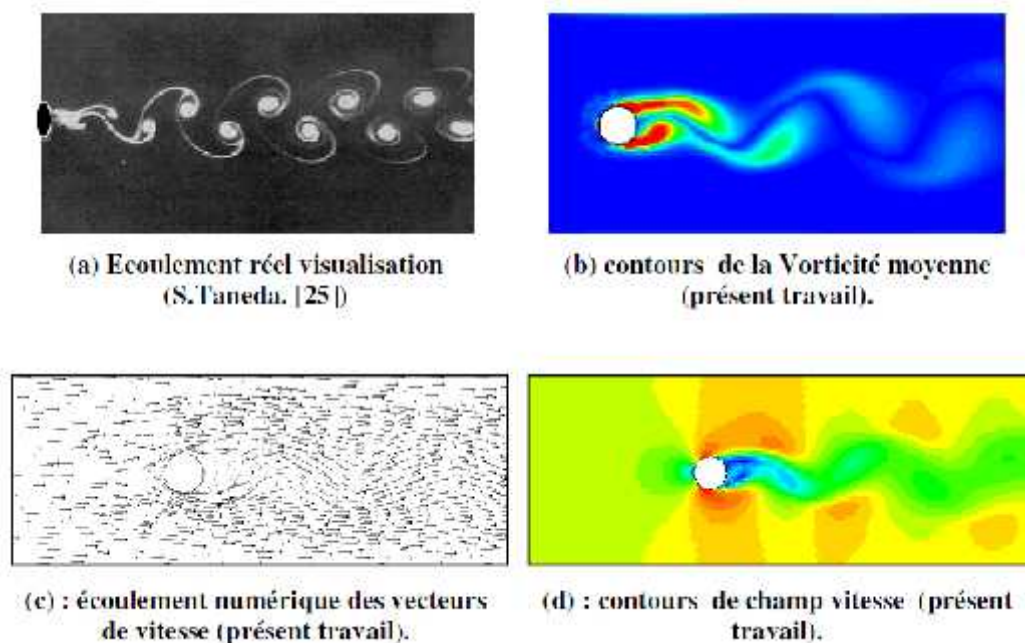


Figure (4-1) Visualisation général de l'écoulement autour du cylindre

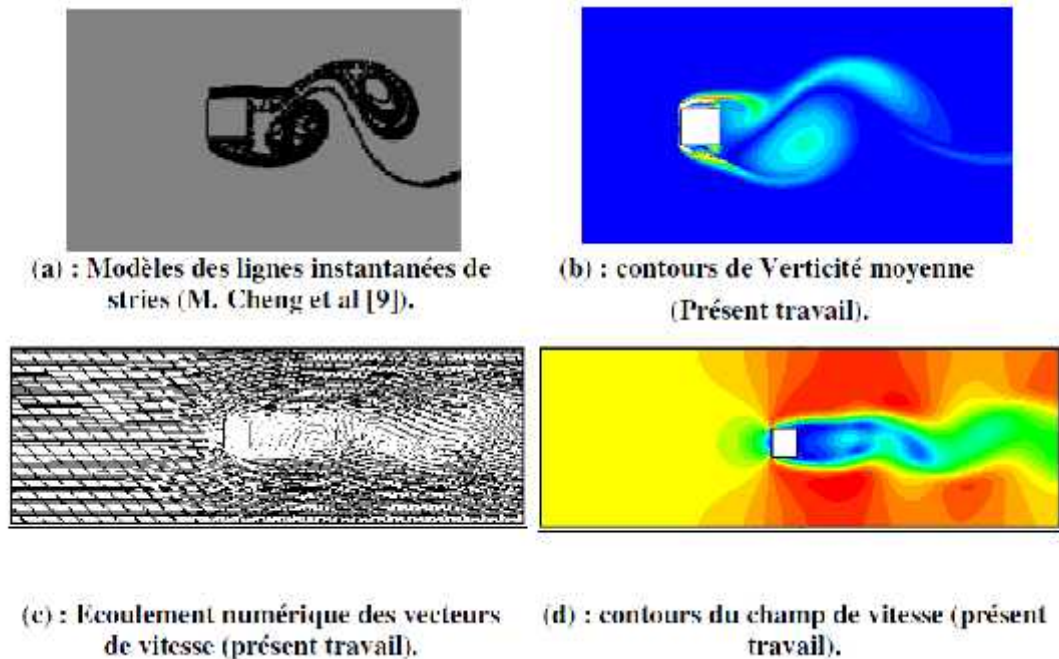


Figure (4-2) Visualisation général de l'écoulement autour du carré

Comme prévu nous pouvons bien visualiser des tourbillons derrière les différentes géométries d'où la confirmation de ce que nous avons vu précédemment, à Reynolds = 1600 l'écoulement est instationnaire turbulent.

On peut apercevoir des lignes de courant en forme de sillage, qui sont le résultat de la formation de l'allée de Von Karman.

1-2 Les lignes de courant :

Afin de visualiser ces derniers nous avons capturé les lignes de courant paraissant lors de notre simulation du carré et du cylindre avec Reynolds = 1600 nous avons interpréter une attention à leur évolution au courant du temps.

Une ligne de courant est une courbe de l'espace décrivant un fluide en mouvement et qui, à tout instant, possède en tout point une tangente parallèle à la vitesse des particules du fluide.

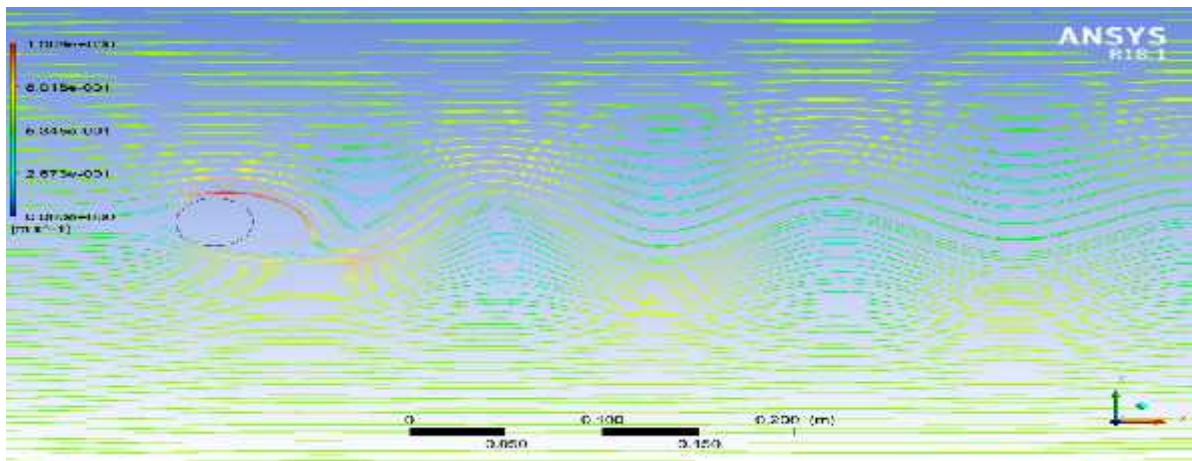


Figure (4-3) ligne de courant du cylindre à $t=0.1\text{s}$ avec le modèle SST

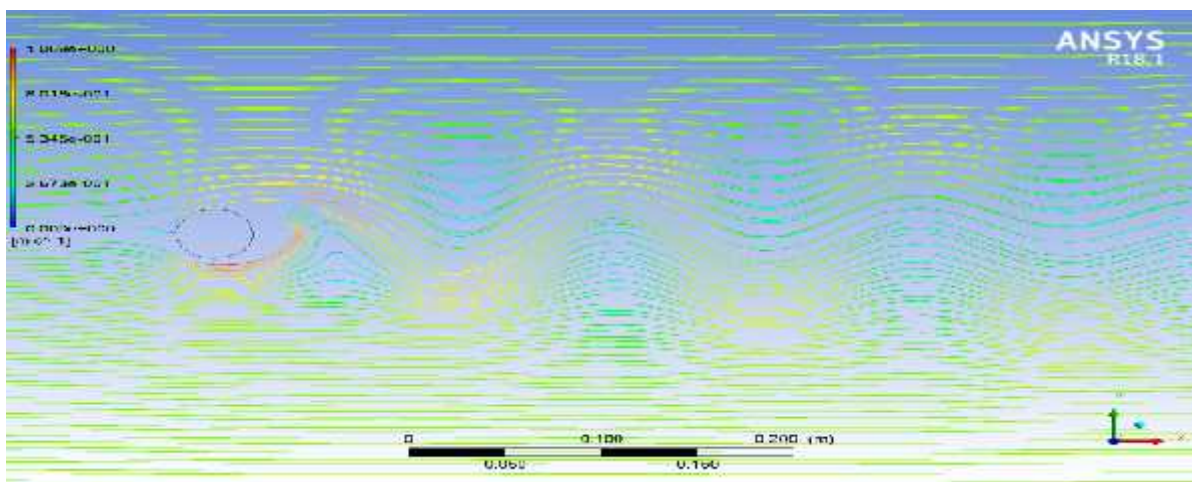


Figure (4-4) ligne de courant du cylindre à $t=2\text{s}$ avec le modèle SST

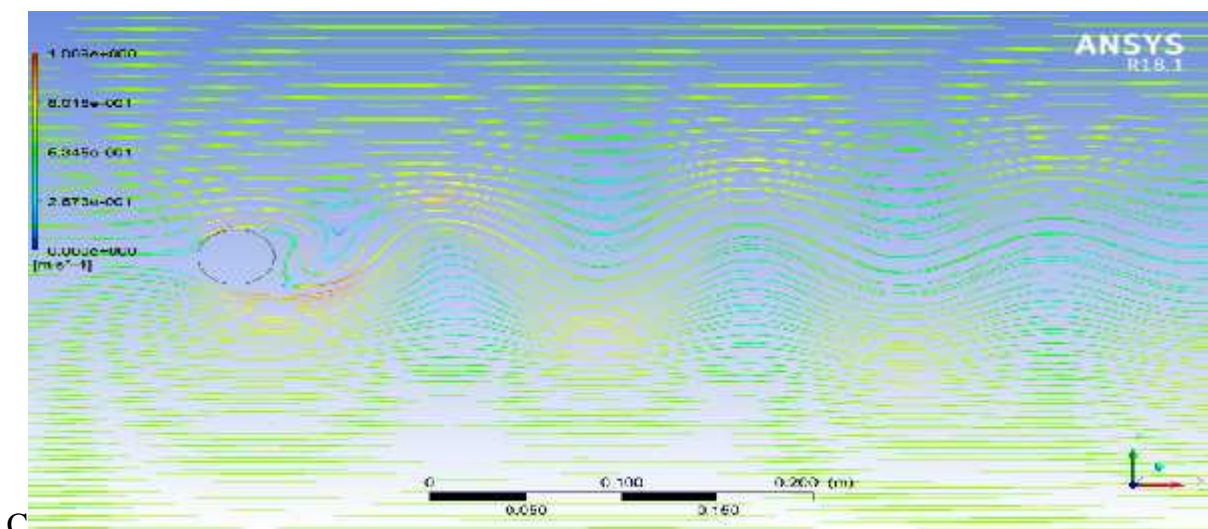


Figure (4-5) ligne de courant du cylindre à $t=3\text{s}$ avec le modèle SST

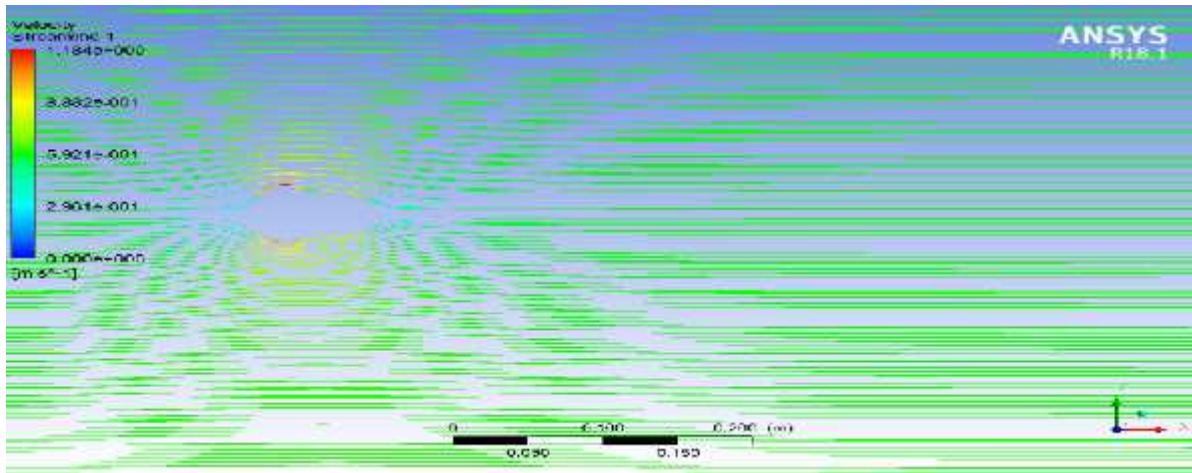


Figure (4-6) ligne de courant du carré à $t=0.1s$ avec le modèle SST

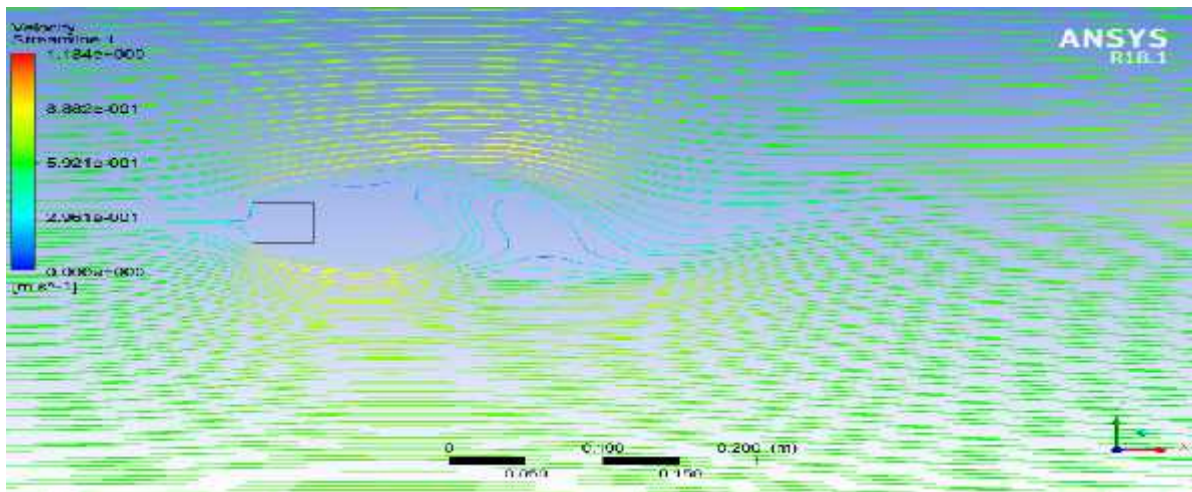


Figure (4-7) ligne de courant du carré à $t=2s$ avec le modèle SST

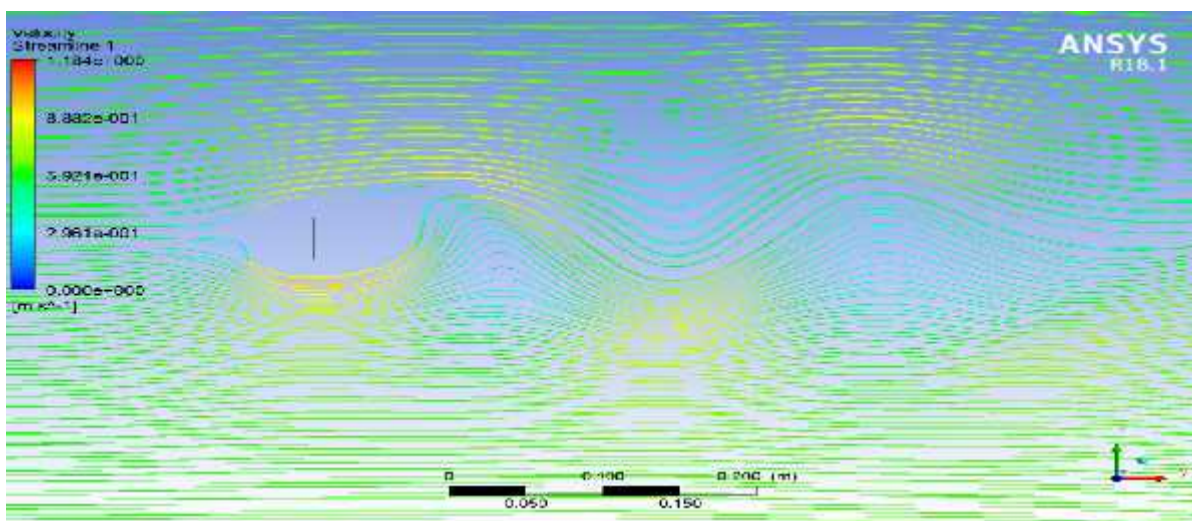


Figure (4-8) ligne de courant du carré à $t=3s$ avec le modèle SST

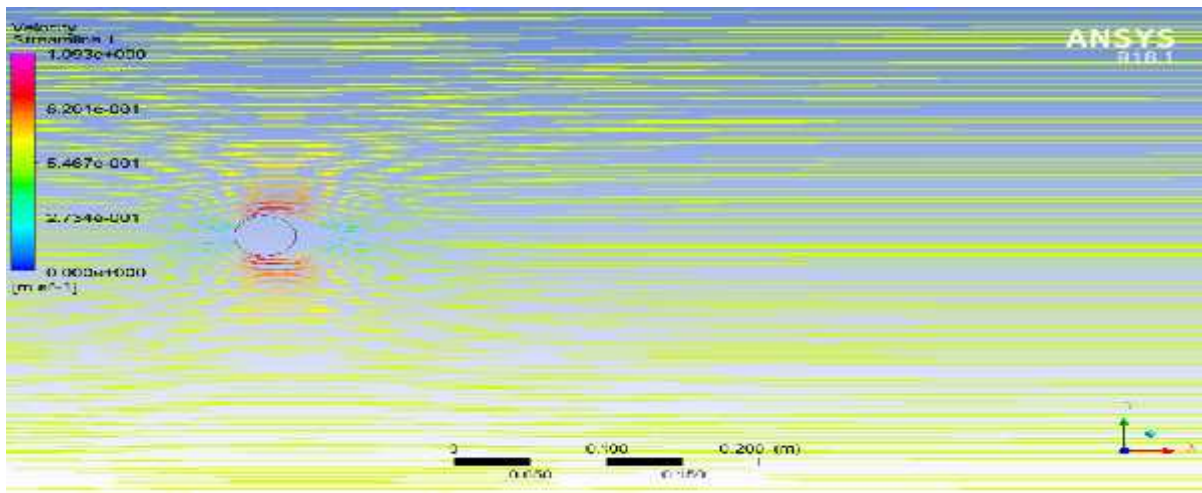


Figure (4-9) ligne de courant du cylindre à $t=1s$ avec le modèle k-

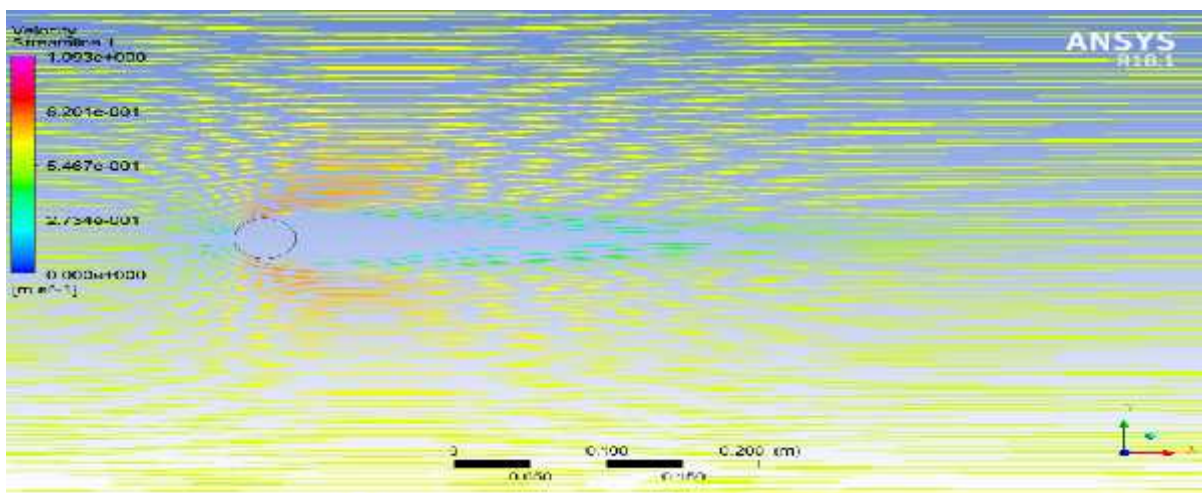


Figure (4-10) ligne de courant du cylindre à $t=2s$ avec le modèle k-

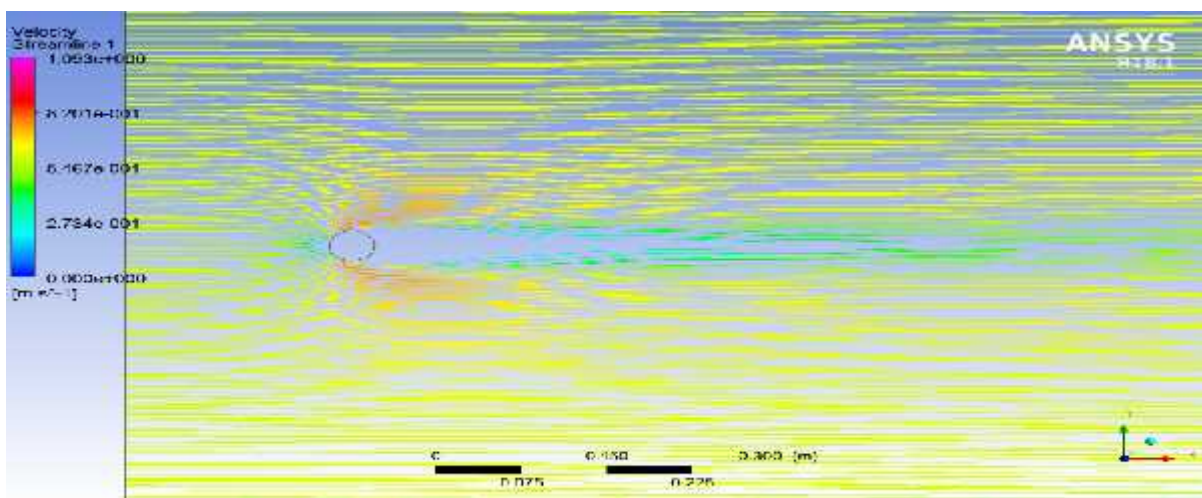


Figure (4-11) ligne de courant du cylindre à $t=3s$ avec le modèle k-

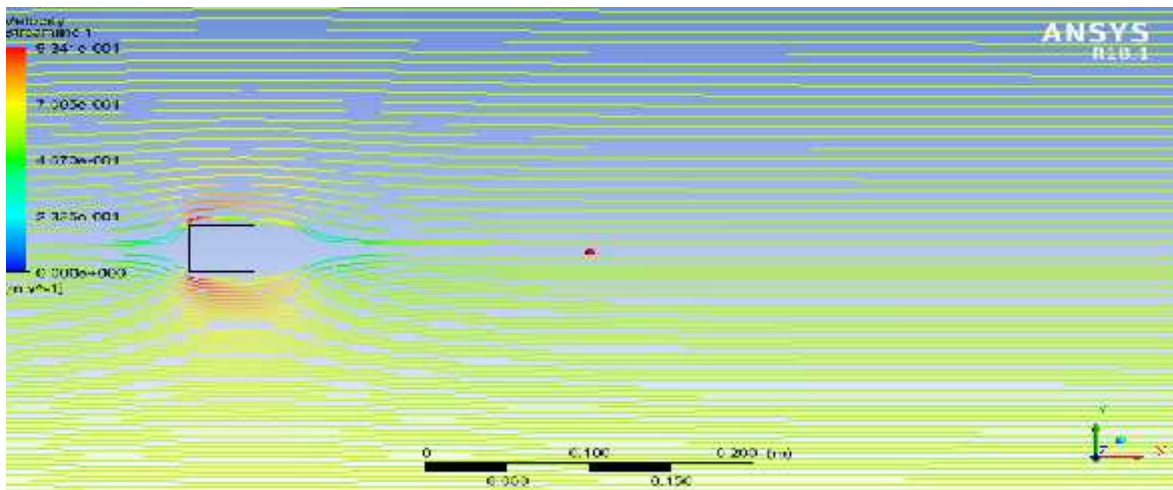


Figure (4-12) ligne de courant du carré à $t=1s$ avec le modèle k-

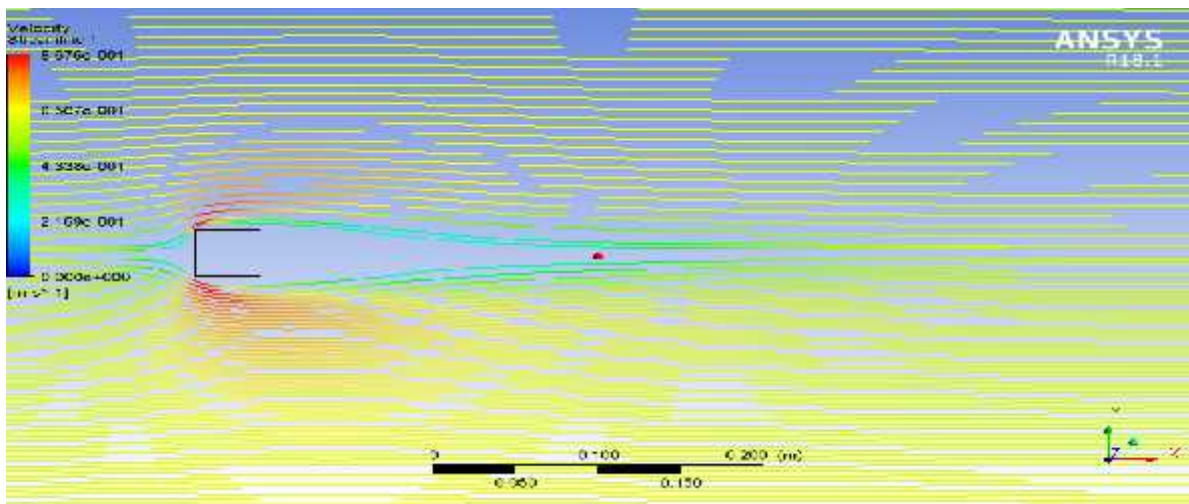


Figure (4-13) ligne de courant du carré à $t=2s$ avec le modèle k-

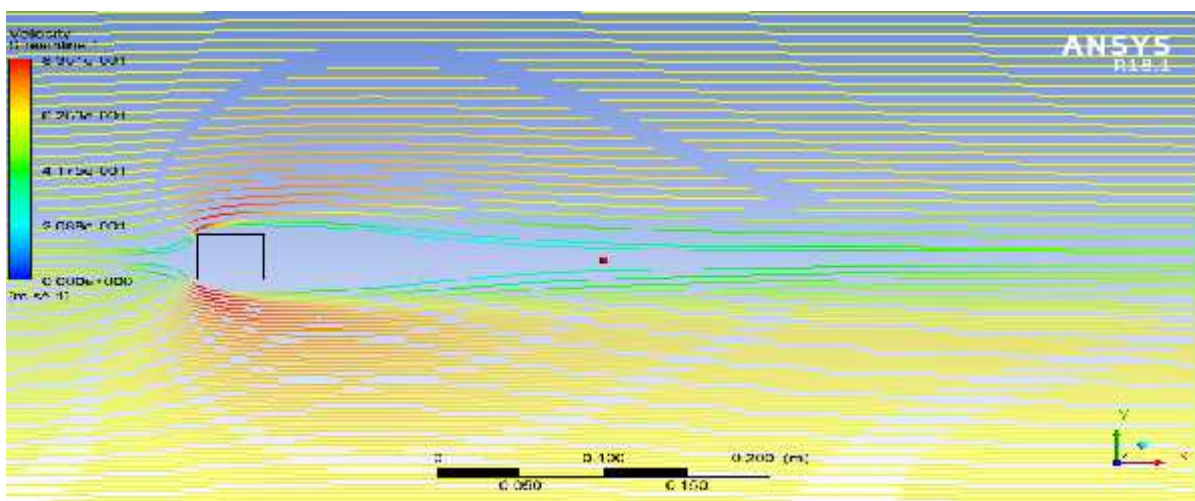


Figure (4-14) ligne de courant du carré à $t=3s$ avec le modèle k-

1 2-1 observation :

Les figures (4-3) jusqu'à (4-14) montre l'évolution des lignes de courants au cours du temps selon les différentes géométries 2 D. En comparant les figures en haut on remarque une différence entre les résultats obtenue lors des différents modes utilisé, comme on peut le voir, les figures calculées en mode SST ainsi que les figures calculées en Mode k- et ceux malgré qu'on a utiliser les mêmes paramètres de géométrie , du maillages , ansi que de la configuration de fluent , ceci est la preuve même que les deux modèles sont différent.

1-2-2 explication :

Le modèle de turbulence k- offre des résultats très médiocres concernant la longueur de détachement. La simulation avec ce modèle montre un comportement en régime permanent et ne montre donc aucun signe de déversement de vortex. Ce comportement en régime permanent explique partiellement la valeur surestimée pour la longueur de rattachement.

Le modèle de turbulence SST montre un meilleur accord avec l'expérience. Un effet de déversement de vortex très régulier peut être observée, la longueur de détachement est encore surestimée mais est acceptable pour la qualité des résultats que nous recherchons. Les calculs exigés sont raisonnables. La simulation SST semble donc être un bon compromis entre un bon résultat et un calcul d'exigence informatique relativement bon marché. Le résultat n'est pas très sensible aux mailles; la valeur y^+ n'a pas besoin d'être très petite, les fonctions de mur évolutives utilisées semblent fiables, le modèle SST semble être un bon.

1-3 Etude des lignes de courbure :

1-3-1 La vitesse :

Dans ce qui suit seront présenté les lignes de courbure de la vitesse à différents temps, Les figures ci-dessous montrent les contours ainsi que le champ de la grandeur de la vitesse autour de l'obstacle cylindre et l'obstacle carrée. Afin d'étudier les différents régimes du flux des géométries à différents temps d'écoulement, les structures de vortex leur formation, l'évolution et l'évacuation des structures de vortex sont capturées. A l'entrée, la vitesse est uniforme et égale à 0.6 m/s, avec $Re = 1600$ de $t = 1$ jusqu'à 3 secondes sont représentés sur la Figure suivantes .

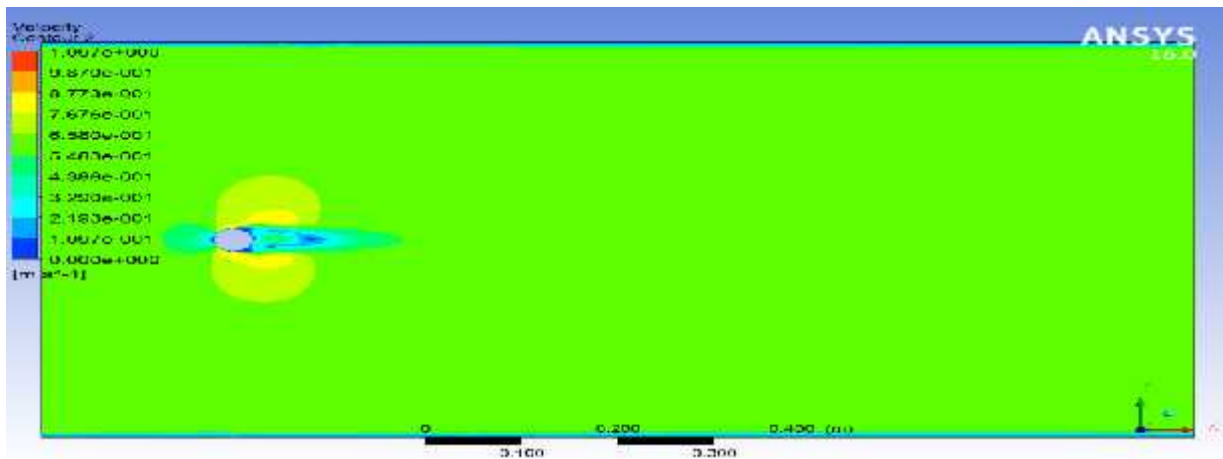


Figure (4-15) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=0.1$ s avec le modèle SST

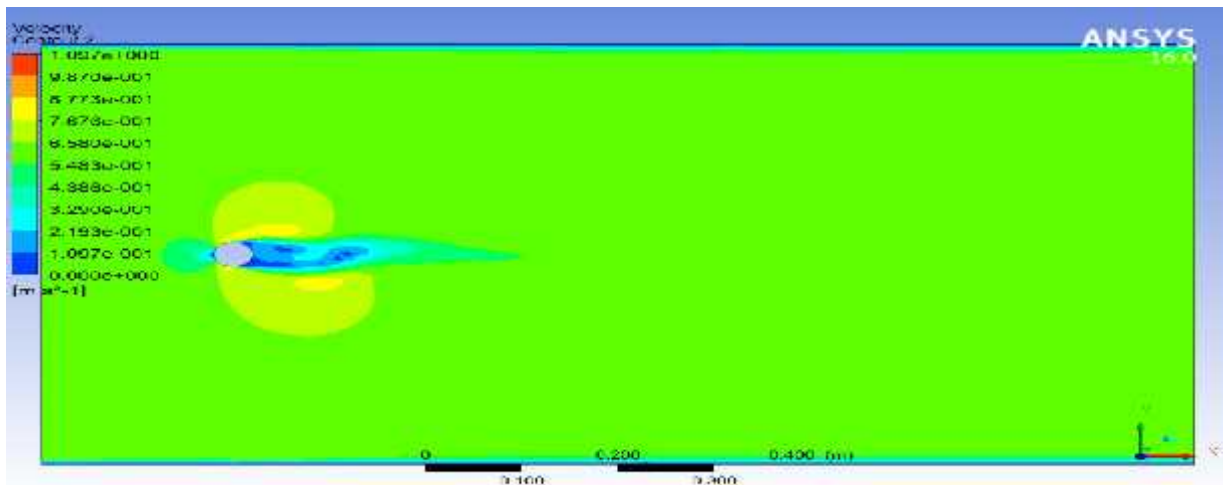


Figure (4-16) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=1$ s avec le modèle SST

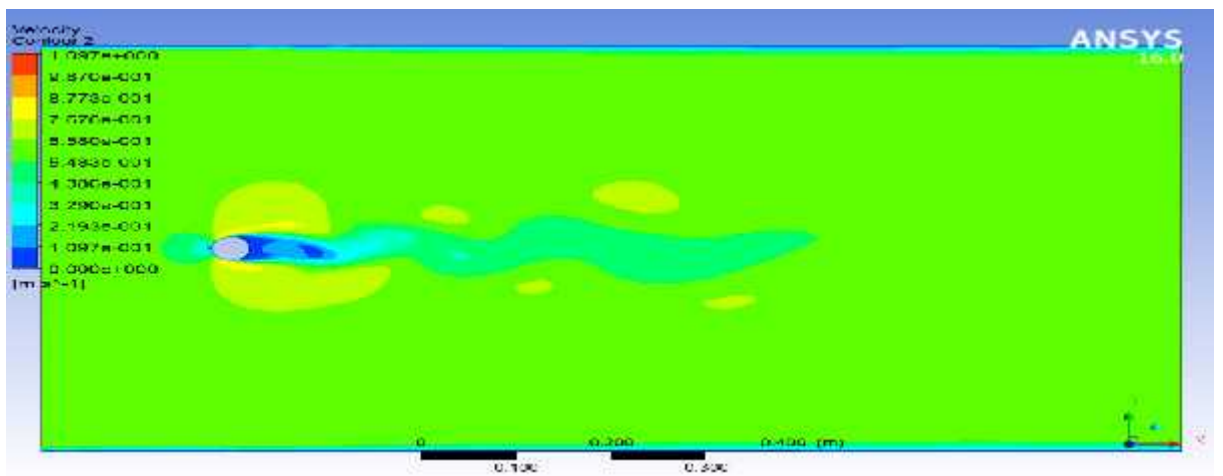


Figure (4-17) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=1.5$ s avec le modèle SST

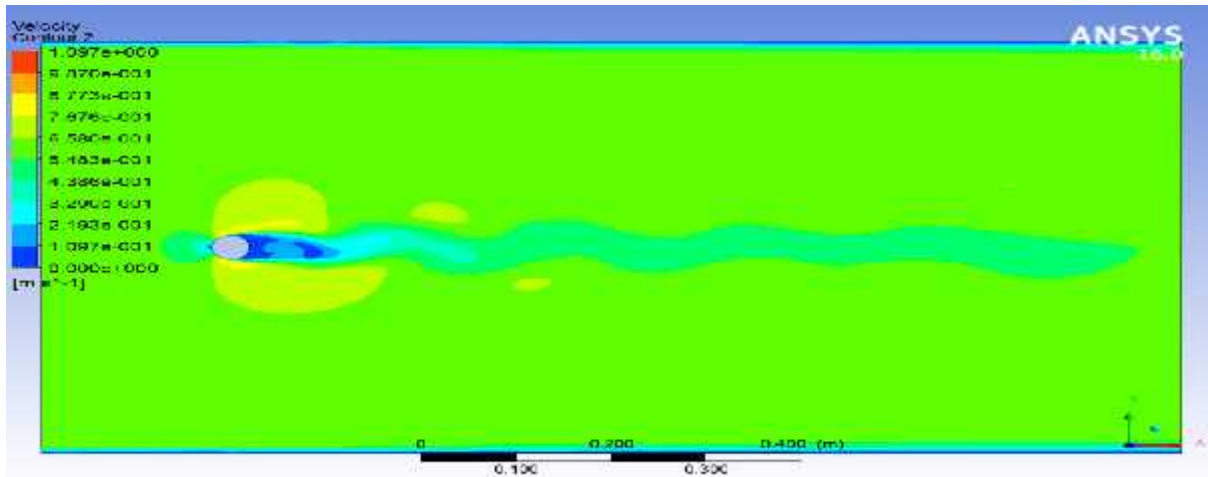


Figure (4-18) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=2s$ avec le modèle SST

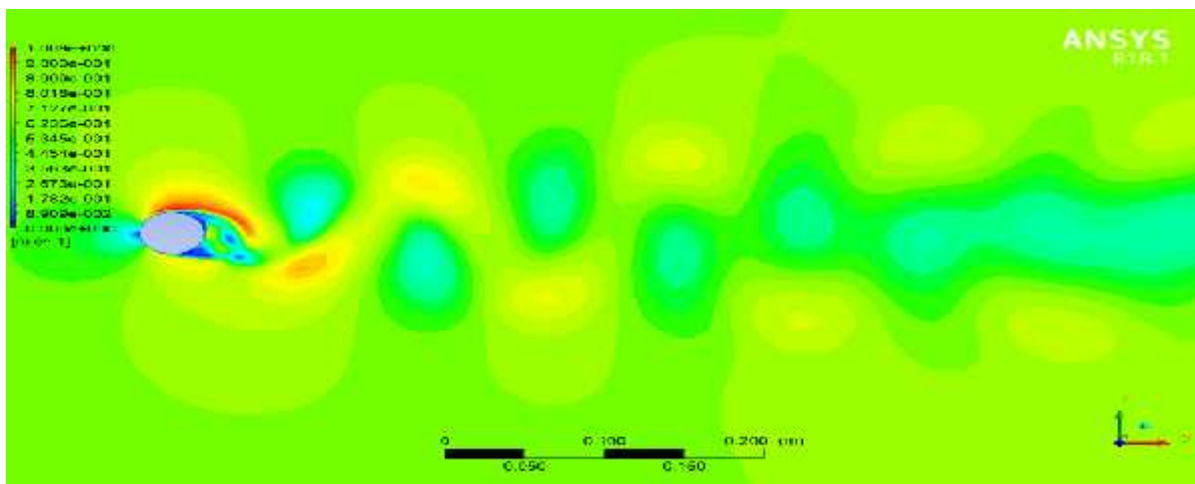


Figure (4-19) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=2.5s$ avec le modèle SST

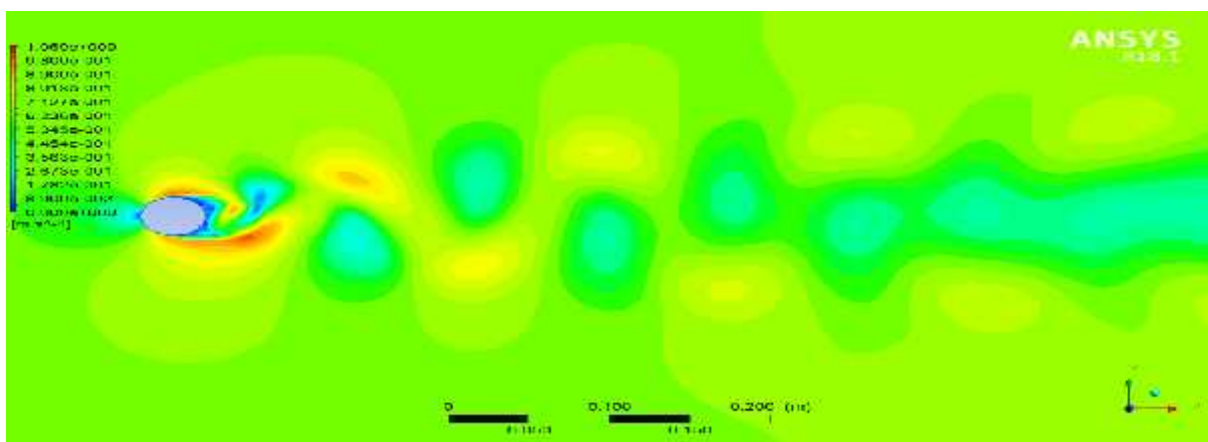


Figure (4-20) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=3s$ avec le modèle SST

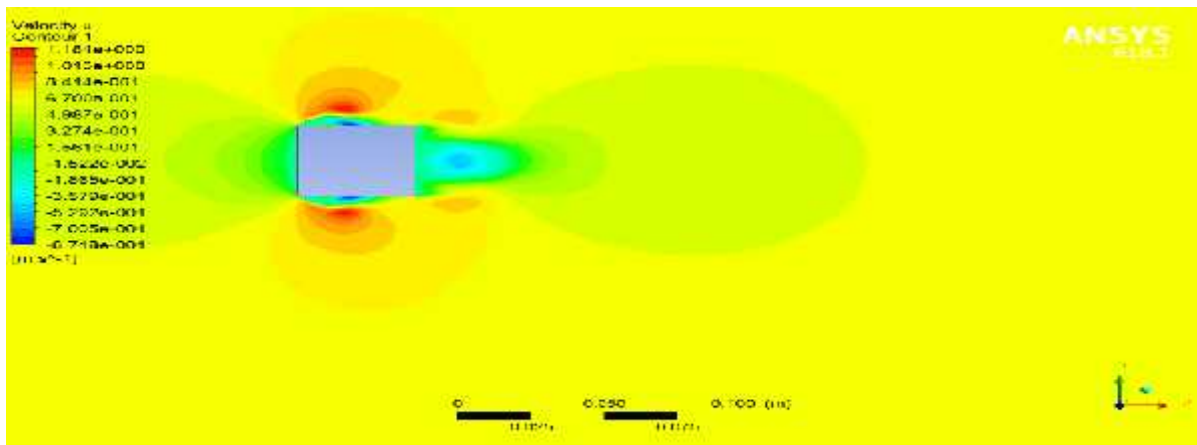


Figure (4-21) : Courbe de vélocité autour du carré à $t=0.1s$ avec le modèle SST

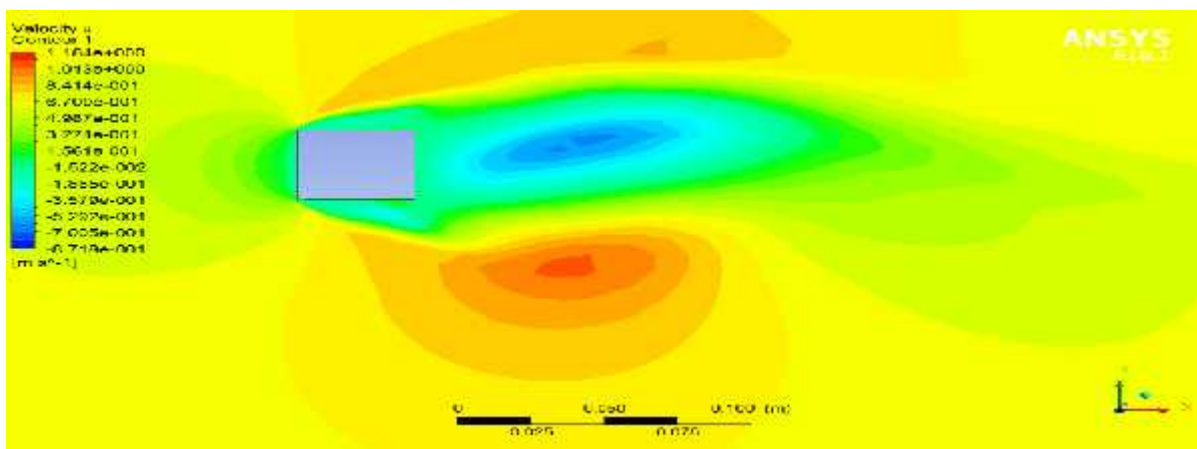


Figure (4-22) : Courbe de vélocité autour du carré à $t=1s$ avec le modèle SST

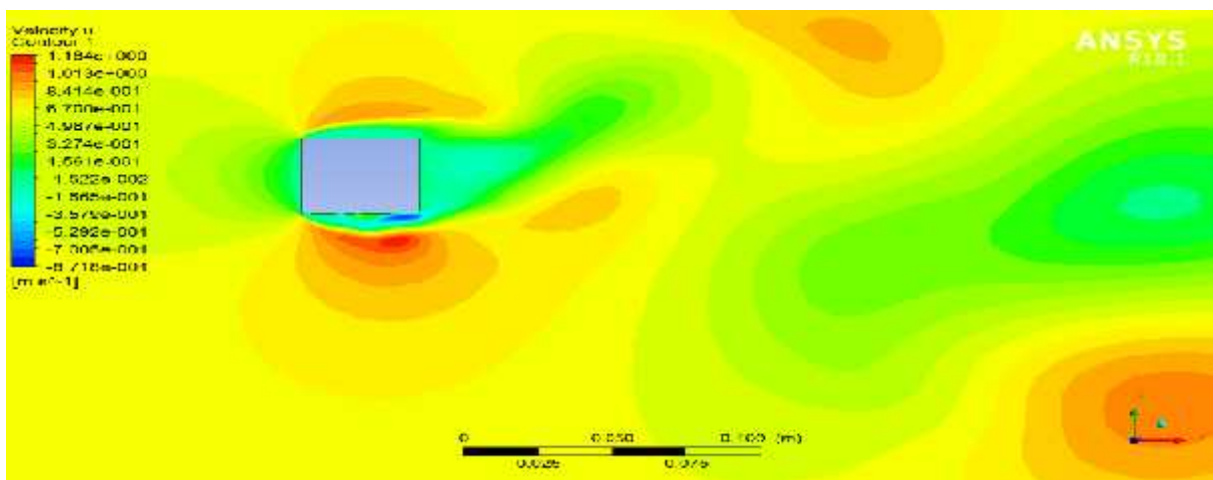


Figure (4-23) : Courbe de vélocité autour du carré à $t=1.5s$ avec le modèle SST

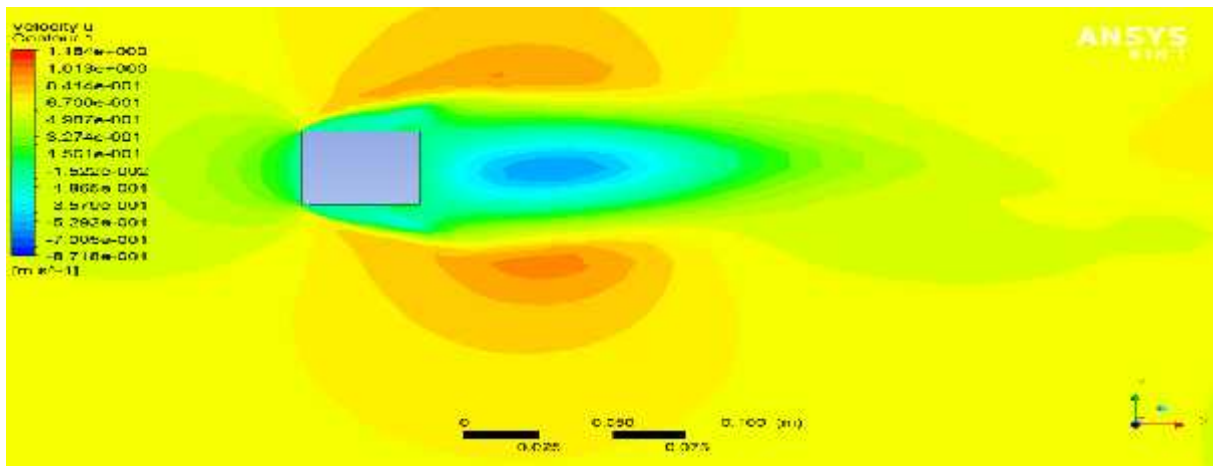


Figure (4-24) : Courbe de vélocité autour du carré à t=2s avec le modèle SST

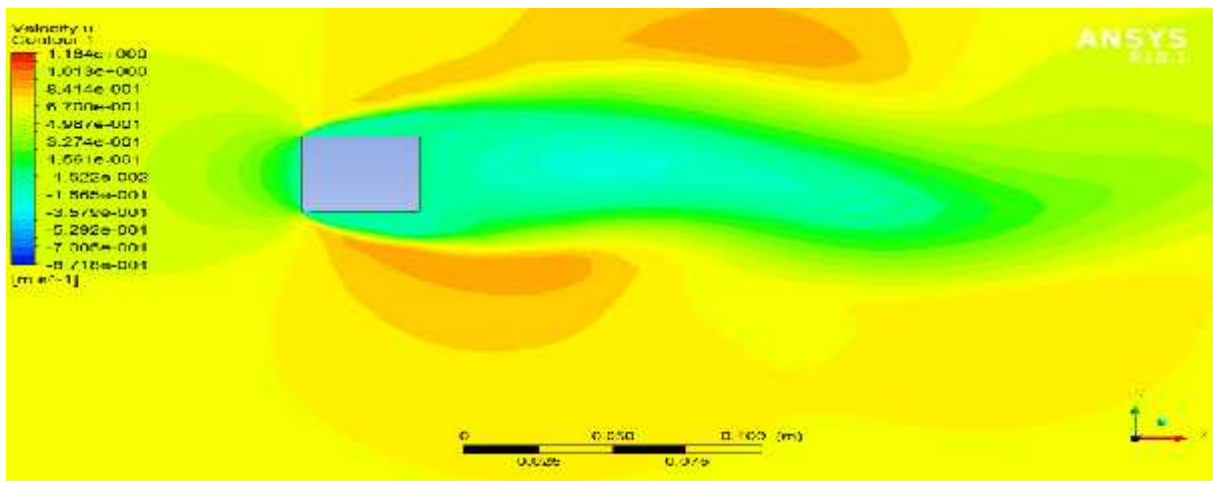


Figure (4-25) : Courbe de vélocité autour du carré à t=2.5s avec le modèle SST

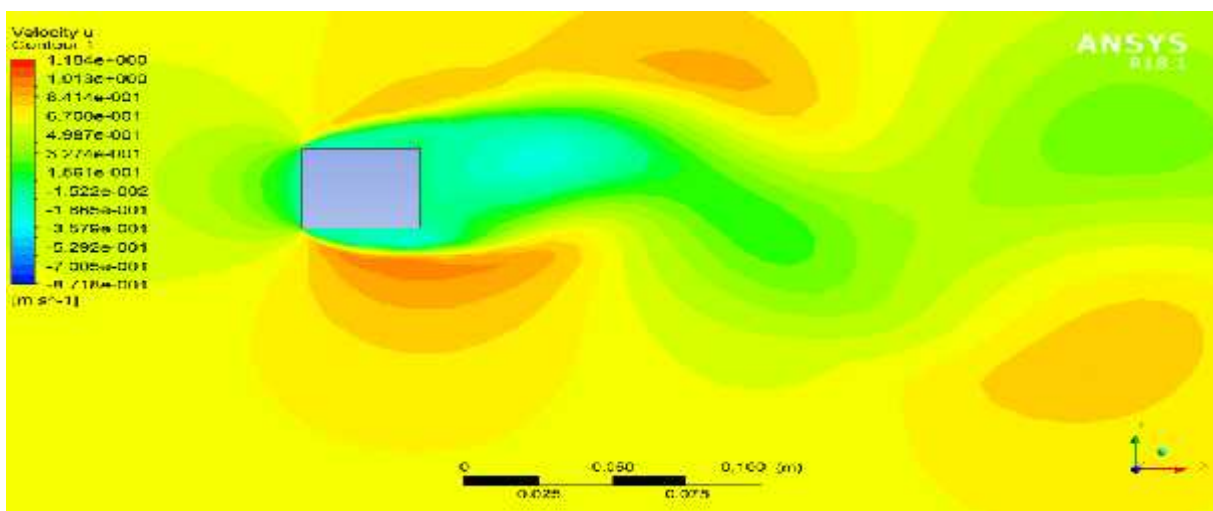


Figure (4-26) : Courbe de vélocité autour du carré à t=3s avec le modèle SST

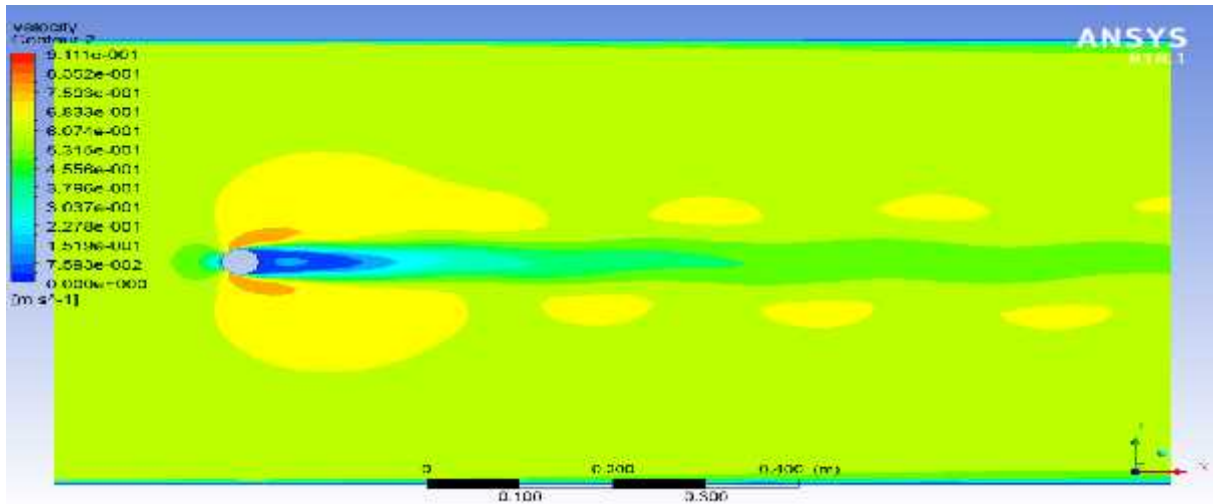


Figure (4-27) : Courbe de vitesse autour du cylindre à $t=3s$ avec le modèle k-

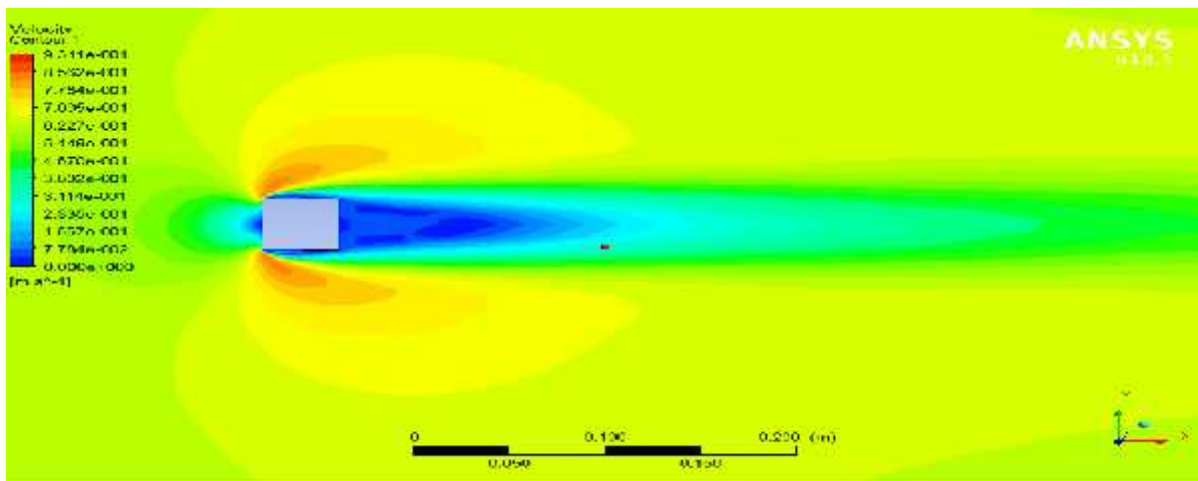


Figure (4-28) : Courbe de vitesse autour du carré à $t=3s$ avec le modèle k-

Remarque : En comparant les figures en haut on remarque une différence entre les résultats obtenus lors des différents modèles utilisés, comme on peut le voir, les tourbillons de sillages apparaissent nettement mieux lors du mode SST d'où la confirmation de notre choix de modèle.

1-3-1-1 observation :

Les figures (4-15) à (4-28) montrent l'évolution temporelle des structures cohérentes de vortex de deux cas traités en aval du corps. Au début, il n'y a pas de structure de vortex formée dans le champ ensuite on remarque un écoulement symétrique qui montre la présence de deux tourbillons fixes contrarotatifs et symétriques dans le sillage derrière l'obstacle. Par la

suite, Il est remarquable de voir une transformation au fil du temps. Où on note un net changement de vortex qui se développe en visualisant l'allée tourbillonnaire de Von- karman avec un allongement de la zone de sillage. On assiste ainsi à l'apparition de pair de tourbillons alternés de signes opposés qui se détache derrière le cylindre ainsi que le carré. En augmentant le pas de temps, les instabilités de l'écoulement croissent et l'écoulement prend une forme oscillatoire. Ainsi, la fluctuation dans le sillage est purement périodique ceci est dû à l'augmentation de l'amplitude et une fréquence variable. Il est à noter aussi, que la taille des structures tourbillonnaires de la section carrée est beaucoup plus grande que celle de la section cylindrique. On remarque que les gros tourbillons qui se développent sont éjectés en alternance parfois vers la paroi supérieure et la paroi inférieure. On peut dire qu'il Ya un roulement des tourbillons dans la zone de sillage et non un glissement.

1-3-1-2 explication :

En aval de l'obstacle et selon le régime et le nombre de Reynolds apparait un écoulement particulier et entraînant à chaque fois un nouveau point de décollement du fluide avec évidence de changement de la zone de sillage. Nous pouvons noter aussi que le fluide se détache de l'obstacle en fonction du Nombre de Reynolds, exemple un angle proche de $=80^\circ$ pour l'obstacle cylindrique et un angle proche $=45^\circ$ pour l'obstacle carré.

1-3-2 Contour de pression :

Afin d'étudier la pression nous avons capturé les contours, pour pouvoir les analyser :

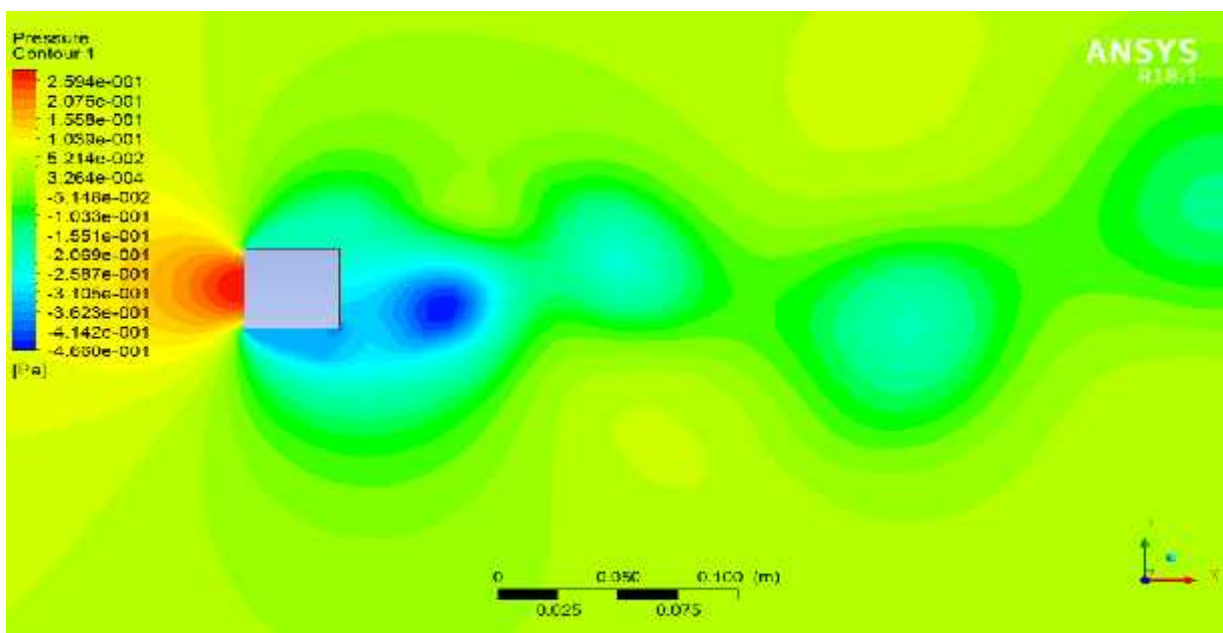


Figure (4-29) : Courbure de pression autour du carré à t=3s avec le modèle SST

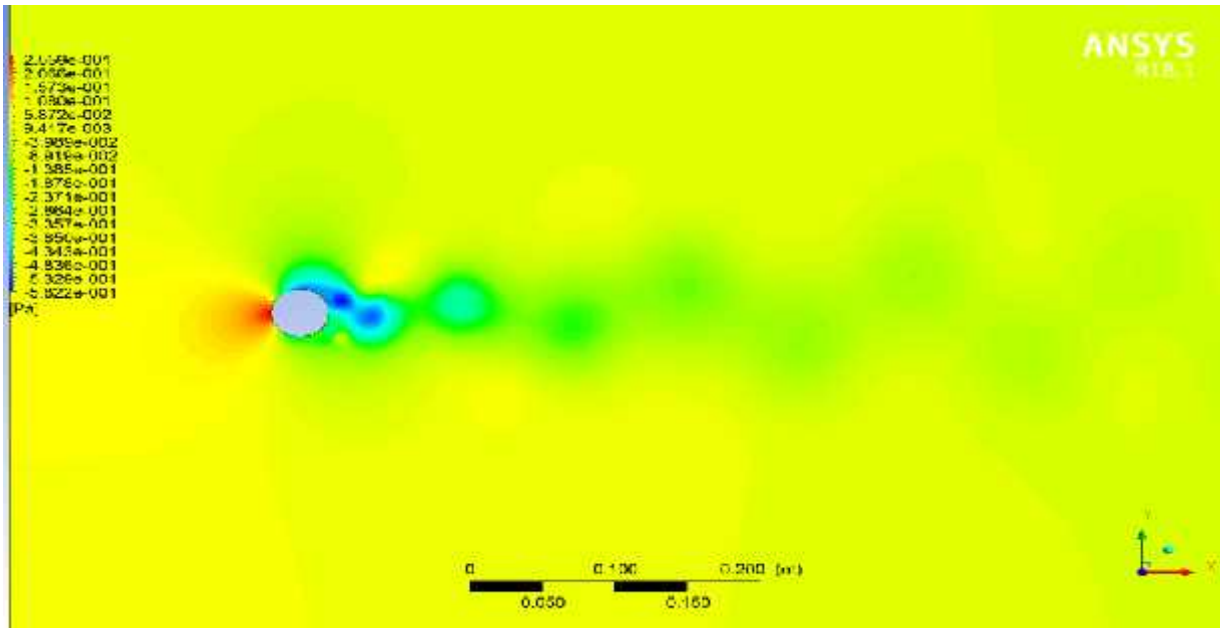


Figure (4-30) : Courbure de pression autour du carré à $t=3s$ avec le modèle SST

1-3-2-1 observation :

Plus le nombre de Reynolds augmente, plus les points de décollements remontent vers le point d'arrêt amont. Les deux couches minces décollées de part et d'autre du cylindre se rejoignent à une certaine distance du point d'arrêt en aval du cylindre, sur l'axe de symétrie.

Dans la région amont à l'obstacle carré, le fluide vient heurter le profil. Il tente ainsi de le contourner en passant par ses côtés ou par-dessus. Il apparaît une inversion du gradient de pression.

1-3-2-2 Explication ;

Pour un obstacle non profilé, le sillage comprend alors une zone de recirculation importante, due au décollement des couches limites. Les efforts de traînée subis par l'obstacle sont alors essentiellement dus au déséquilibre des pressions autour de l'obstacle. Le frottement du fluide sur les parois de l'obstacle contribue de manière négligeable aux forces sur l'obstacle.

1-3-3 Energie cinétique :

Le résultat de l'énergie cinétique est le suivant :

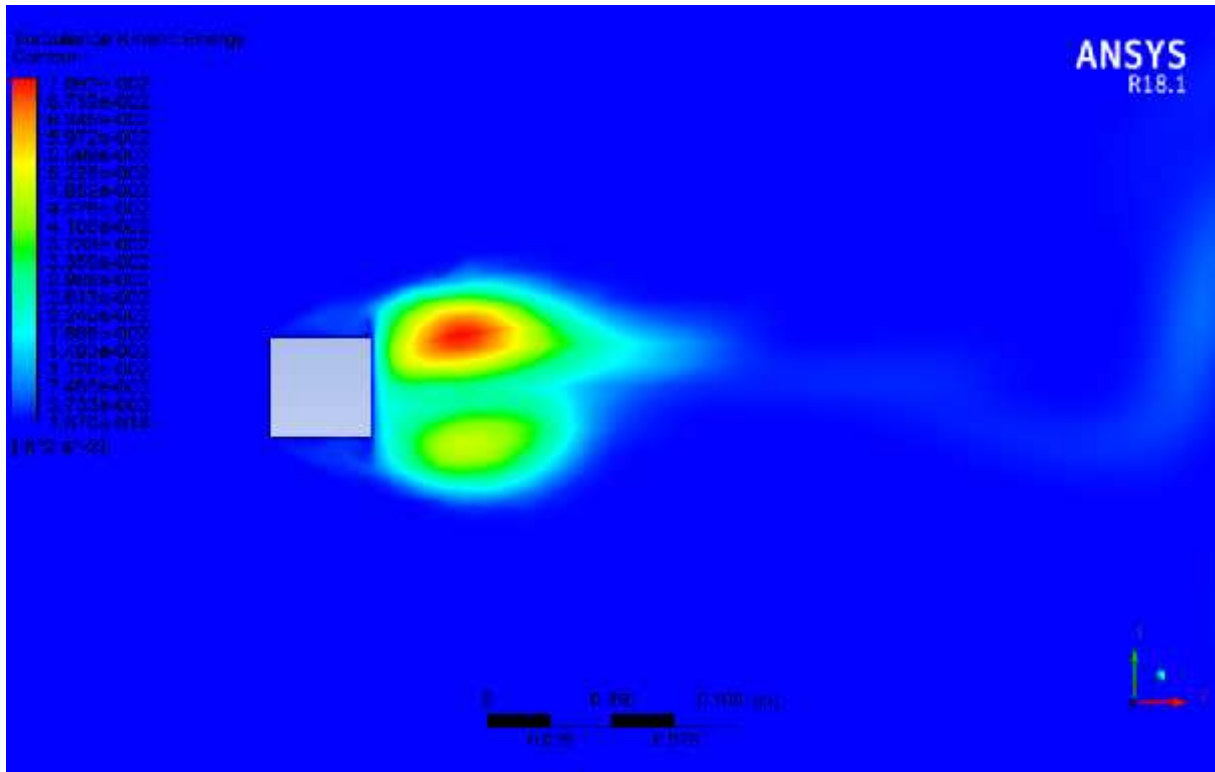


Figure (4-31) Contour de l'énergie cinétique autour du carré à $t=2s$ en SST

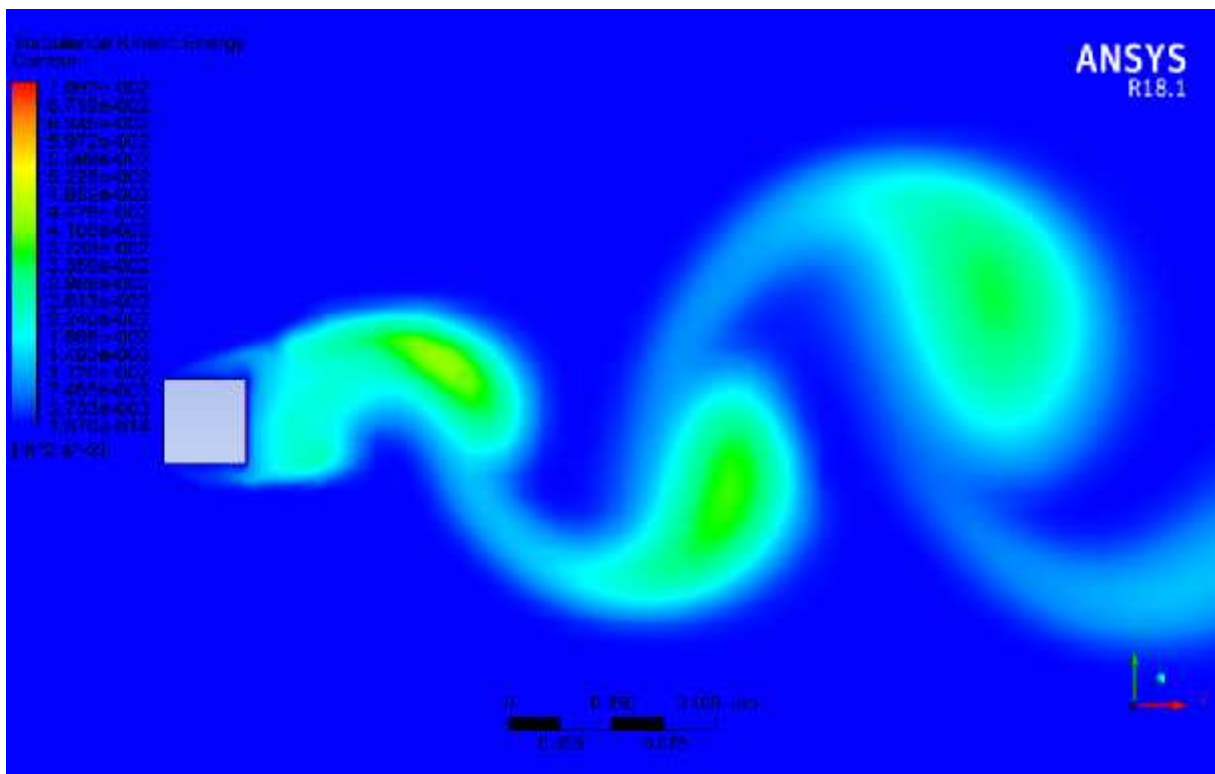


Figure (4-32) Contour de l'énergie cinétique autour du carré à $t=3s$ en SST

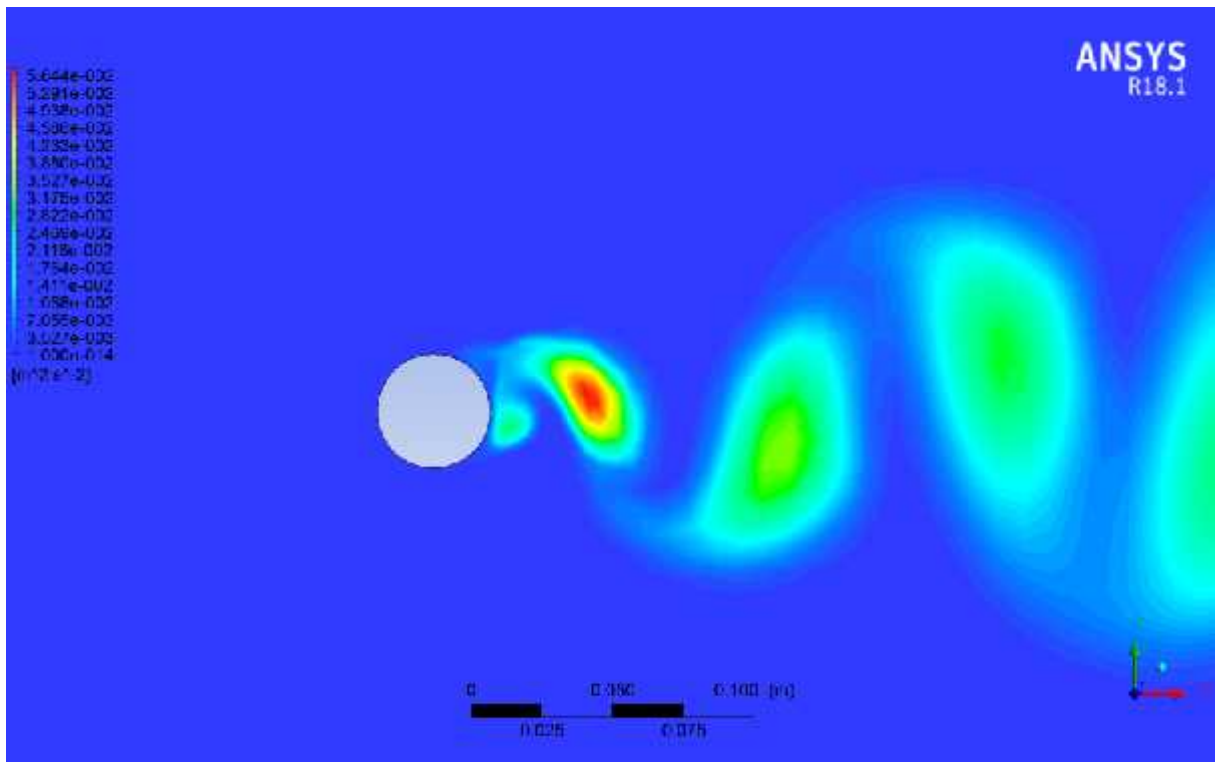


Figure (4-33) Contour de l'énergie cinétique autour du cylindre à $t=2s$ en SST

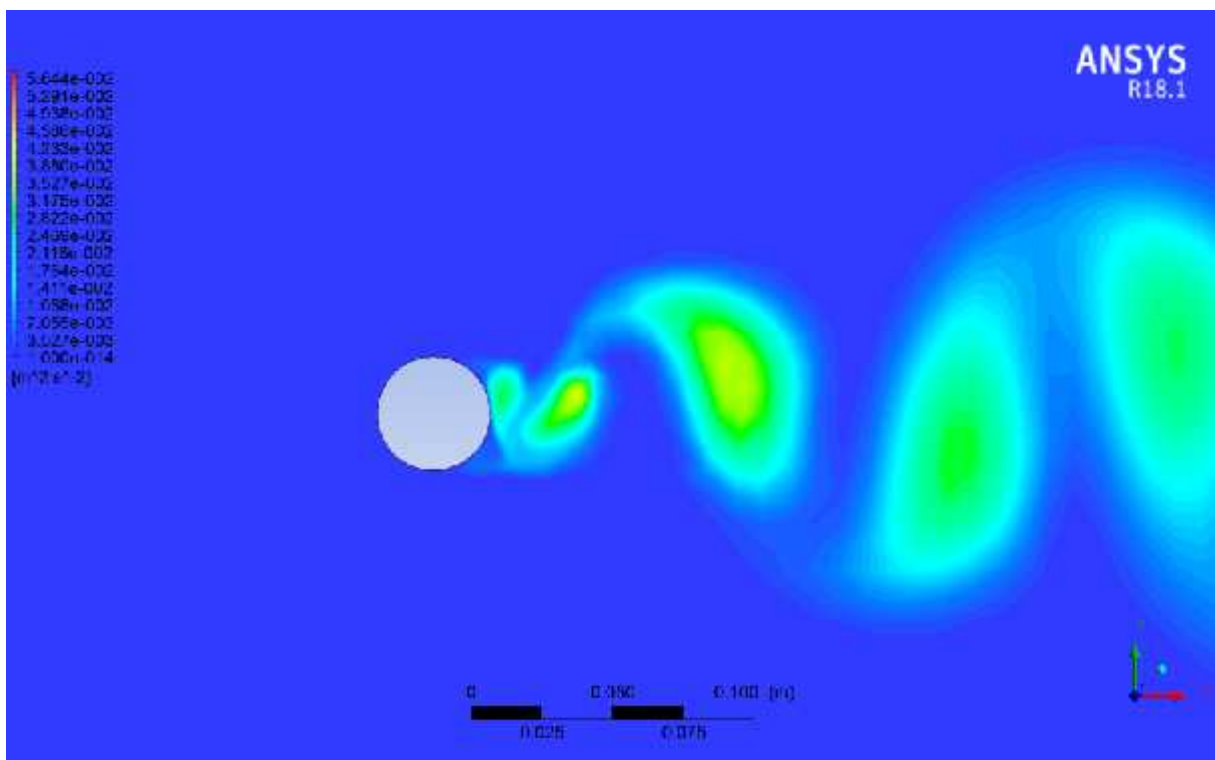


Figure (4-34) Contour de l'énergie cinétique autour du cylindre à $t=3s$ en SST

1-3-3-1 observation :

Les figures (4-31) (4-32), (4-33), et (4-34) montrent les contours de l'énergie cinétique turbulente pour les différentes géométries. On remarque d'après les figures que l'intensité de turbulence reste négligeable de l'entrée du canal

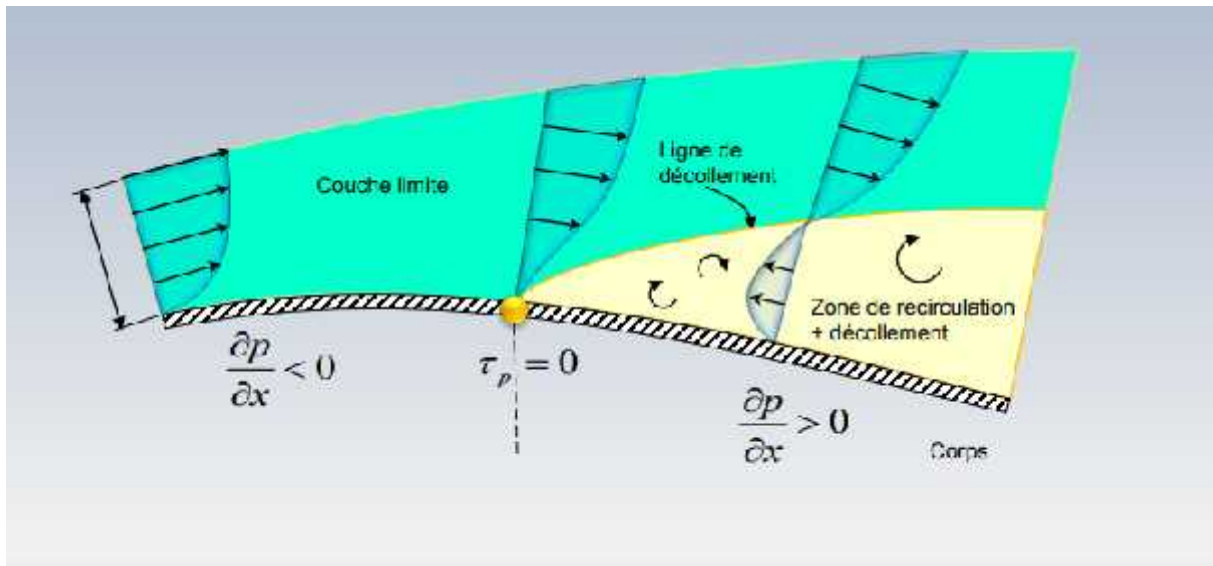


Figure (4-35) formation d'une ligne de décollement [11]

1-3-4 Conclusion :

Ce phénomène est due aux points d'arrêts qui sont des points dépendant de la géométrie. Au point d'arrêt, la vitesse du fluide est nulle et toute l'énergie cinétique est transformée en énergie de pression de façon isentropique, Ainsi La pression d'arrêt augmente

2- Cas de géométries 2D avec Reynolds 75, 100 et 125 :

Afin de faire l'étude suivante nous avons travaillé avec le cas de plusieurs nombres de Reynolds avec une seule géométrie et ceci afin de pouvoir comparer les nombres et coefficients suivants :

Le coefficient de traînée (C_d), le coefficient de portance (C_l) et le nombre de Strouhal (St) sont trois nombres sans dimension importants pour le problème de l'écoulement autour de tous les objets avec une géométrie non profilé, et ils sont donnés par:

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho \frac{\pi}{4} D^3 U_\infty^2}$$

$$C_l = \frac{2F_l}{\rho \frac{\pi}{4} D^3 U_\infty^2}$$

$$St = \frac{F_v}{U_\infty}$$

Où F_d et F_l sont respectivement la force de trainée et de portance de l'obstacle. ρ est la densité du fluide, et U_∞ est la vitesse d'entrée du fluide, et f_v est fréquence d'émission des tourbillons.

2-1 le coefficient de portance (Cl) :

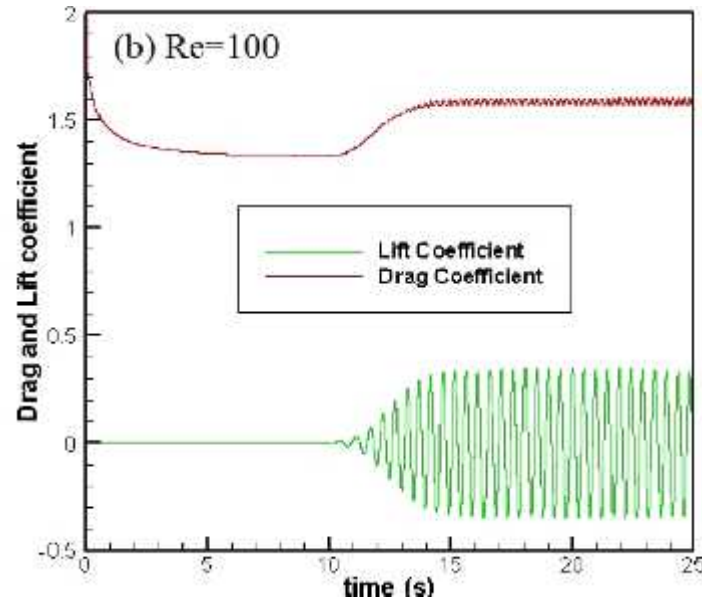


Figure (4-35) graphe représentant le coefficient de portance en fonction du temps

2-1-1 analyse :

À haute Re, le flux devient instable en raison des mécanismes d'instabilité et les vortex apparaissent, en forme d'une allée, qu'on connaît sous le nom de l'allée de Von Karman

A Re= 100 Le coefficient de portance CL, représenté sur la figure. (4-35) aussi, est de nature sinusoïdale. En état instable l'oscillation de la force de portance est le résultat de l'évacuation du vortex due au mouvement du vortex de bas en haut et de haut en bas.

Le coefficient de trainée Cd est sinusoïdale aussi La force de traction induite dans un écoulement croisé est principalement développée par la pression et visqueuse forces agissant sur le corps.

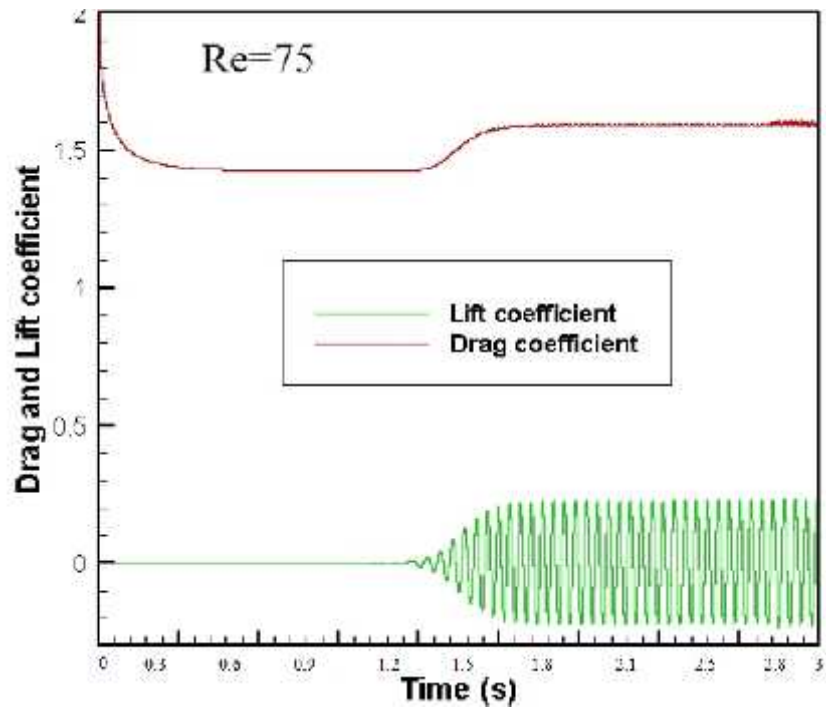


Figure (4-36) graphe représentant le coefficient de portance en fonction du temps

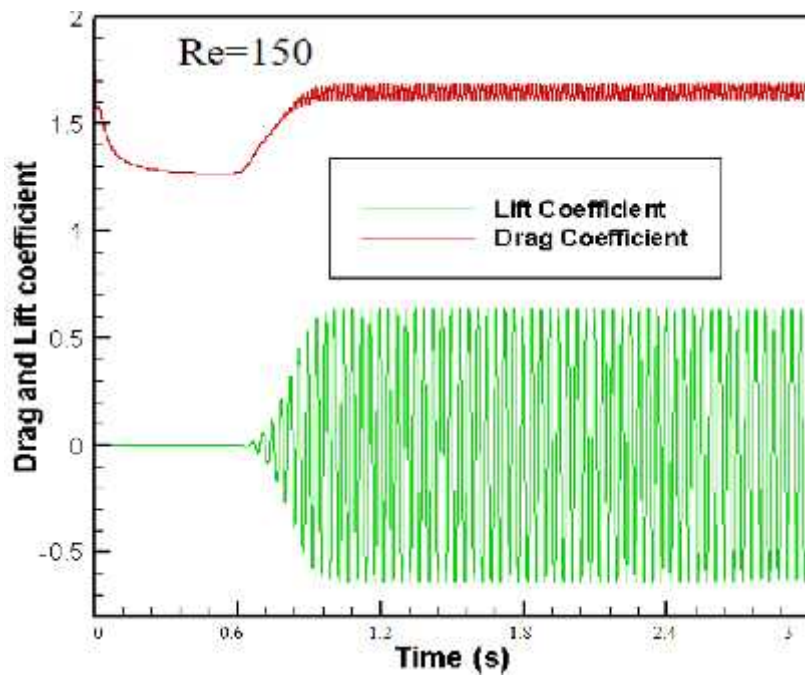


Figure (4-37) graphe représentant le coefficient de portance en fonction du temps

2-1-2 Analyse :

Comme on peut le remarquer pour les différents $Re = 75, 100, 125$ qui sont représentés sur les figures (4-36) et (4-37) en augmentant Reynolds de 75 à 125 le coefficient de traînée ne change pas notablement, alors que le coefficient de portance augmente fortement en augmentant le nombre de Reynolds (le coefficient d'élévation dans $Re = 125$ est presque 3 fois plus grand que le coefficient de soulèvement dans $Re = 75$).

2-2 Le nombre de Strouhal :

Le nombre de Strouhal est un nombre sans dimension, caractérisant le caractère oscillatoire d'un écoulement. Dans notre cas, il permet de renseigner sur la fréquence d'émission des tourbillons, donc de savoir à quelle fréquence le disque vibre. Dans l'industrie, ce type d'analyse peut être utilisé pour estimer le son émis par un élément positionné au sein d'un écoulement, comme une antenne de voiture par exemple.

Étant donné que le CL est aussi un paramètre directement lié au mouvement transversale de l'allée de Von Karman et à la fréquence de lâchée tourbillonnaire [3] et compte tenu de la périodicité observée lors des simulations nous allons l'utiliser pour déterminer la fréquence de dégagement tourbillonnaire, ce qui nous sera utile pour calculer le Strouhal.

d le coefficient de traînée (CD) et le nombre de Strouhal (St) dépendent tous les deux de la force appliqué sur le cylindre par le fluide, ils sont liés par des phénomènes différents. Le CD est lié au mouvement longitudinal parallèle à ceux de l'écoulement alors que le nombre de Strouhal est lié aux mouvements transversaux, et pourtant, à la fréquence de dégagement tourbillonnaire.

Le CL est aussi un paramètre directement lié au mouvement transversale de l'allée de Von Karman et à la fréquence de lâchée tourbillonnaire [3] et compte tenu de la périodicité observée lors des simulations on peut aussi l'utiliser pour déterminer la fréquence de dégagement tourbillonnaire, ce qui nous sera utile pour calculer le Strouhal.

Grâce à la fonction Fast Fourier Transform (fft) sur Matlab. Puis, avec son équation nous avons calculé le nombre de Strouhal pour chaque cas

La transformation de Fourier discrète (TFD) est un outil mathématique de traitement du signal numérique, qui est l'équivalent discret de la transformation de Fourier continue qui est utilisée pour le traitement du signal analogique.

Pour le cas $Re=100$ on trouve $st= 0.142$

On réitère cette simulation plusieurs fois, en faisant varier la vitesse d'entrée à chaque fois, pour changer le nombre de Reynolds.

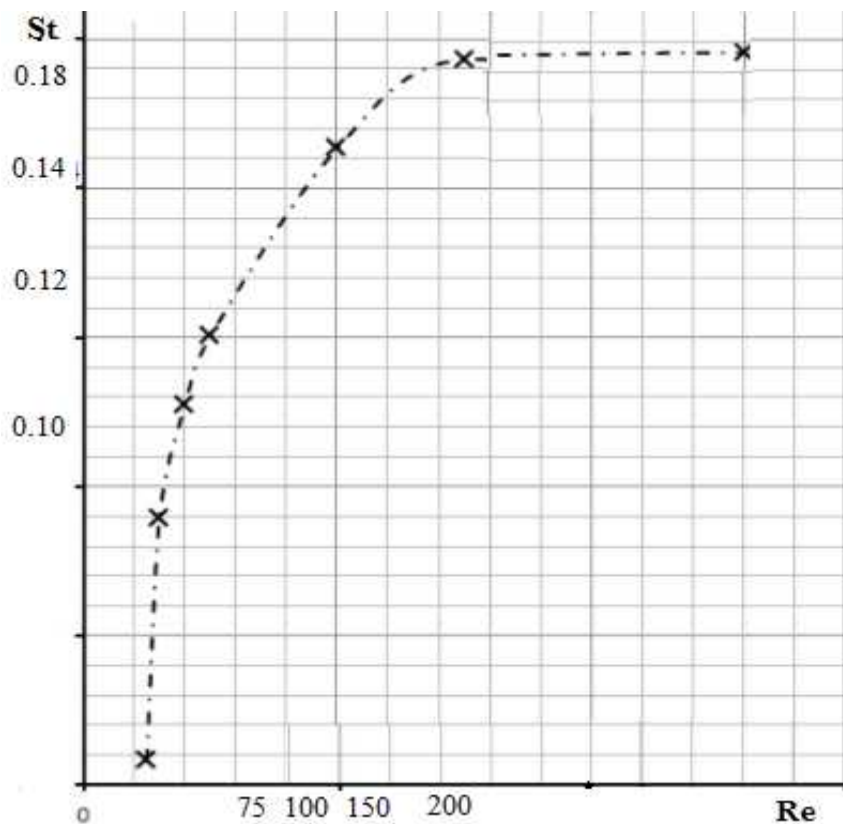


Figure (4-38) Courbe de Strouhal en fonction de Reynolds

2-2-1 explications :

L'instabilité créée par les sillages de l'écoulement tourbillonnaire de Von Karman est de nature bidimensionnelle et est caractérisée par une période fortement prononcée. Ainsi, le spectre temporel de la vitesse ou de la pression en un point de l'écoulement présente un pic important à la fréquence du lâché tourbillonnaire. Cette fréquence adimensionnée par la vitesse de l'écoulement incident et le diamètre du cylindre définit le nombre de Strouhal qui définit la fréquence adimensionnée du lâché tourbillonnaire.

Dans ce régime qui est instationnaire, la fréquence augmente avec l'augmentation de Reynolds sachant que le seuil d'écoulement a aussi pour effet d'augmenter Rec et que l'augmentation du nombre de Reynolds augmente la fréquence d'émission des tourbillons (pour des valeurs de $Re < 103$), il est logique que l'augmentation du seuil d'écoulement augmente le nombre de Strouhal critique.

3- Cas du carré en 3D et nombre de Reynolds égale à 21400 :

Pour les nombres de Reynolds supérieur à 10^4 environ la complexité de l'écoulement ne permet plus l'observation des principaux modes par les méthodes expérimentales de même cette complexité exige des simulations numérique construites sur le maillage ne permettant plus des études systématique à de nombreux Reynolds.

Cette partie nous allons étudier les résultats obtenus après la simulation en 3D avec un nombre de Reynolds de 21400.

On appelle ce genre de simulation les simulations a grands échelle ; quand le nombre de Reynolds est grand, le calcul demande une grande puissance.

C'est à cause de cela qu'avec nos appareils nous avons eu des problèmes de calculs, les résultats obtenue ne sont pas précis et sont différents des résultats de travaux précédents qui ont était fait par des machines de calcul plus puissantes :

3-1 Nos résultats :

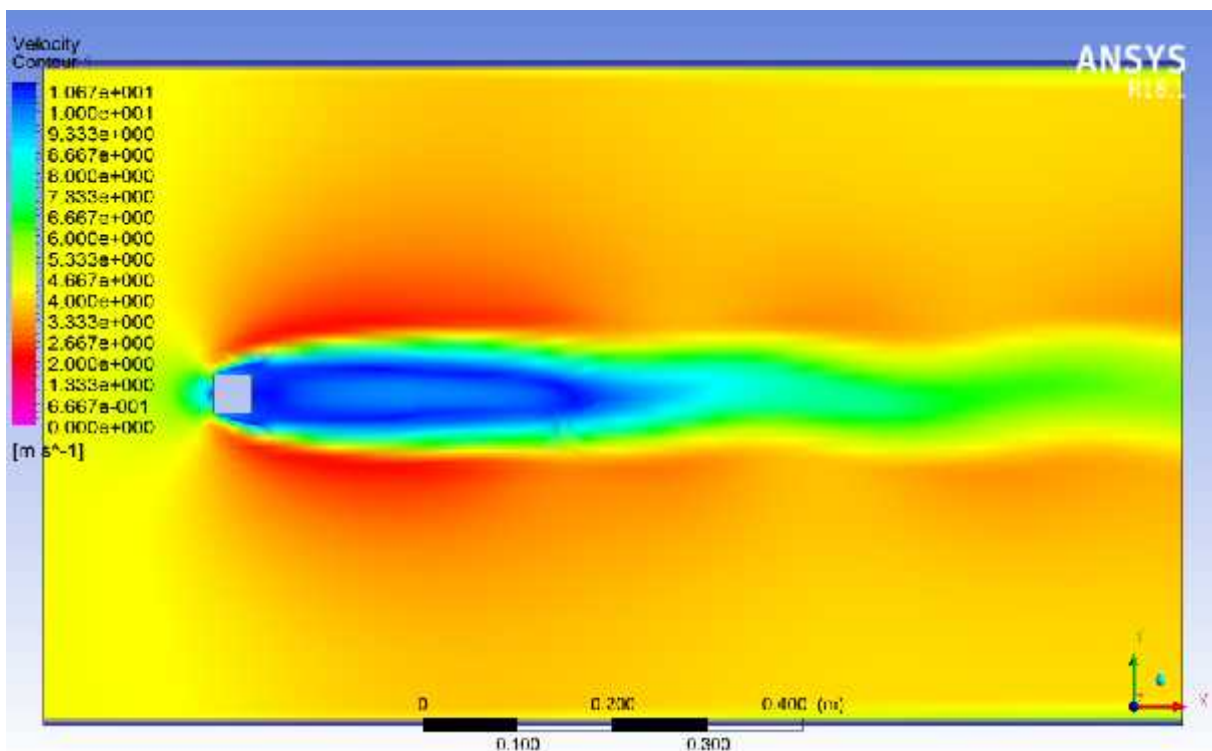


Figure (4-38) Courbure de la vélocité dans le cas 3 D à t=3s

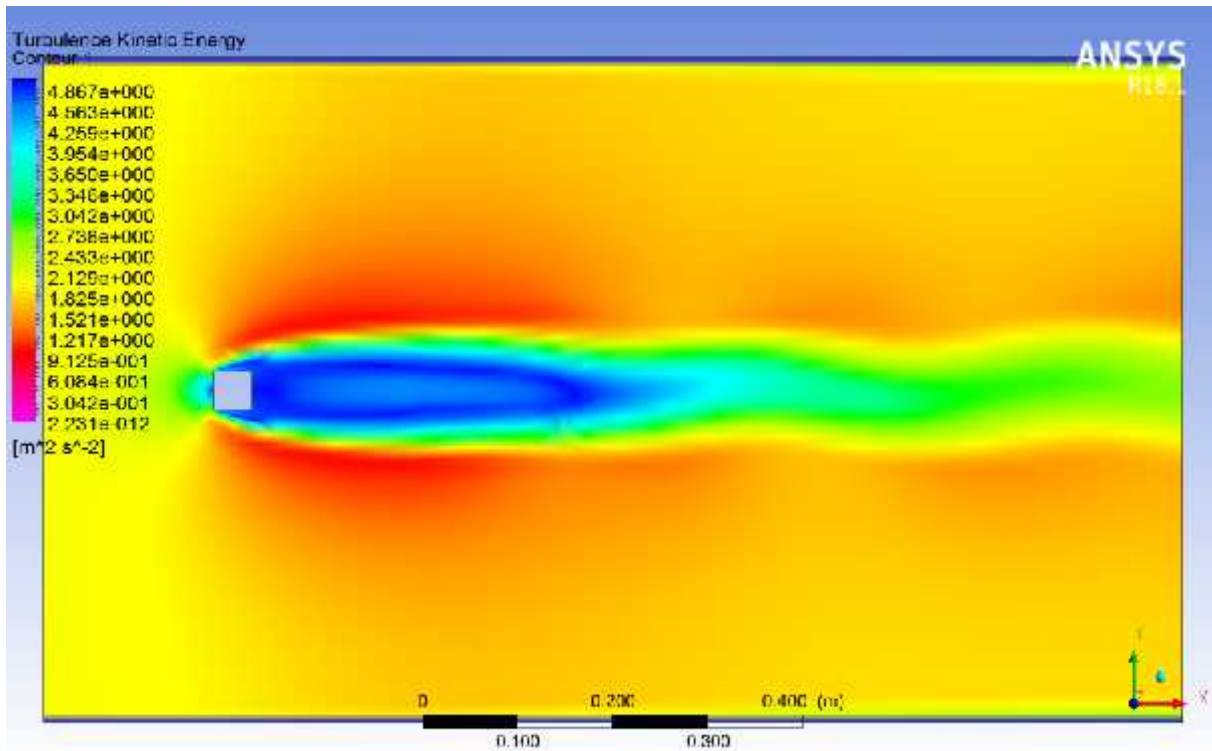


Figure (4-39) Courbure de l'énergie cinétique dans le cas 3 D à $t=3s$

Comme nous pouvons le voir le modèle SST et nos machines sont pas assez puissante pour effectuer tt les calculs, après documentation nous avons pu constater que les calculs des travaux précédent se faisait avec le modèle RANS ce modèle fournit nettement de meilleurs résultats que le modèle SST.

Beaucoup moins coûteuse que la DNS, la modélisation par approche statistique est à ce jour l'approche couramment utilisée dans le monde industriel. Basée sur les équations moyennées de Navier-Stokes (RANS, Reynolds Averaged Navier-Stokes), au sens statistique ou temporel, elle donne uniquement accès aux champs moyens soit aux plus grosses structures de l'écoulement. Les interactions entre écoulement moyen et plus petites échelles sont alors prises en compte par des modèles statistiques. A partir d'une décomposition de la solution instationnaire, en une partie moyenne et une partie fluctuante, en moyennant les équations de Navier-Stokes incompressibles, on détermine un nouveau système d'équations dans lequel interactions entre écoulement moyen et mouvement turbulent apparaissent à travers un nouveau terme appelé tensions turbulentes.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ce travail, on a étudié avec une simulation numérique fournit par le logiciel Fluent, un Écoulement instationnaire d'un fluide newtonien et incompressible. Nous avons appliqué le modèle k- et SST sur deux différentes formes géométriques qui on les même dimensions : obstacle à section carrée et à section cylindrique, L'étude est faite en 2D pour les 2 géométries. la comparaison entre les contours de vitesse et les lignes de courants pour les 2 géométries nous ont permis de constater que le SST est le meilleur pour faire la simulation et visualiser le phénomène de Von karman, ce qui nous a pousser a continuer avec le modèle SST pour et avec un $Re = 1600$.

En premier lieu on s'est intéressé aux champs de la vitesse résultante, ainsi qu'aux champs des vitesses et de pression. La nature turbulente de l'écoulement considéré nous a conduits à s'intéresser aux champs de l'énergie cinétique turbulente aussi nous avons conclu que ces trois données sont reliée et c'est la relation entres eux qui contribue en grande partie à créer le champ de Von Karman.

ensuite on s'est intéressé a différents nombre de Reynolds, pour la même géométrie on a changé ce dernier cela nous a permis de tirer de très riches observations pour ces nombres qui sont ($Re=75,100,150$), le régime d'écoulement instable a été observé, on a constaté que le coefficient de traînée, portance, nombre de Stouhal ,dépends du nombre de Reynolds. les résultats montrent en passant le temps et l'augmentation du nombre de Reynolds provoque une fluctuation des coefficients de traînée (C_d) et de portance (C_l) a un court temps, en outre le coefficient de portance augmente considérablement lorsque le nombre de Reynolds augmente

Enfin nous nous sommes intéressé à l'études des simulation a grandes échelles et avons constaté des difficulté en rapport avec nos machines de calcul ainsi qu'avec le mode SST, nous avons conclu que le modèle RANS est le plus adapté à ce genre de simulation.

Référence :

- [1] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/projnum/content/types-decoulement>
- [2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Theodore_von_karman
- [3] <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent>
- [4] <http://lhe.epfl.ch/cours/bachelor/slides/chapitre6.pdf>
- [5] Etude des écoulements autour des obstacles étude de simulation par KORIB Kamel
- [6] [1] C. H. K. WILLIAMSON *et al.* A SERIES IN $1/Re$ TO REPRESENT THE STROUHAL-REYNOLDS NUMBER RELATIONSHIP OF THE CYLINDER WAKE. *Journal of Fluids and Structures* 12 (1998), 1073-1085 Article No.fl980184
- [7] MEHMET Sahin *et al.* (2004). A numerical investigation of wall effects up to high blockage ratios on two-dimensional flow past a confined circular cylinder. *Physics of Fluids* 16 (2004), 1305; doi: 10.1063/1.1668285
- [8] BOYE Ahlborna *et al.* On drag, Strouhal number and vortex-street structure. *Fluid Dynamics Research* 30 (2002) 379–399
- [9] REHIMI F. *et al.* Experimental investigation of a confined flow downstream of a circular cylinder centred between two parallel walls. *Journal of Fluids and Structures* 24 (2008) 855–882
- [10] RAJANI B.N. *et al.* **Numerical simulation of laminar flow past a circular cylinder** . *Applied Mathematical Modelling* 33 (2009) 1228–1247
- [11] F.J. Chatelon, M.L. Munoz-Ruiz, and P. Orenca. On a bi-layer shallow-water problem. *Nonlinear Anal.*, 4:139–171, 2003.
- [12] F.J. Chatelon and P. Orenca. Condition d'existence de solutions d'un problème de shallow water basé sur un modèle bicouche. *CRAS*, 324:515–518, 1988.
- [13] F.J. Chatelon and P. Orenca. On a non-homogeneous shallow-water problem. *Math. Modelling Numerical Anal.*, 31(1):27–55, 1997.

- [14] F.J. Chatelon and P. Orenge. Some smoothness and uniqueness results for a shallow water problem. *Adv. Differential Equations*, 3(1):155–176, 1998.
- [15] P.G. Ciarlet. *Elasticité tridimensionnelle. Collection Recherches en Mathématiques Appliquées*. Masson, 1986.
- [16] R. Coifman and G. Weiss. Extensions of hardy spaces and their use in analysis. *Bull. A.M.S.*, 83:569–645, 1977.
- [17] B. Cushman-Roisin. *Introduction to Geophysical Fluid Dynamics*. Prentice Hall, 1994.
- [18] R. Dautrey and J.L. Lions. *Analyse Mathématique et Calcul Numérique pour les Sciences et les Techniques. Collection C.E.A. Masson*, 1984.
- [19] Maria de la Luz Muñoz Ruiz. *Análisis de un modelo bicapa de aguas poco profundas. Thèse de Doctorat, Universidad de Málaga, mai 2002*.
- [20] B. Desjardins, M.J. Esteban, C. Grandmont, and P. Le Tallec. Weak solutions for a fluid-elastic structure interaction model. *Rev. Mat. Comput.*, 14(2):523– 538, 2001.

Table des matières

DEDICACES.....	
REMERCIEMENTS.....	
TABLE DES MATIERES.....	
LISTE DES FIGURES.....	
NOMENCLATURE.....	

INTRODUCTION ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction.....	01
2. Etude bibliographique	04
3. Plan de travail.....	09

CHAPITRE 1: DESCRIPTION GENERALE

1. Généralité.....	11
2. Ecoulement autour d'un cylindre a section circulaire.....	12
2.1. Les types des écoulements autours d'un cylindre à section circulaire.....	12
2.1.1 Écoulement rampant	12
2.1.2 Régime stationnaire décollé	13
2.1.3 Régime laminaire instationnaire bidimensionnel	14
2.1.4 Regime turbulent	14
2.2 Allées de tourbillons de Von Karman	15
3.Écoulement autour d'un cylindre section carrée.....	17
3.1 L'influence du nombre de Reynolds sur le cylindre a section carré.....	19
3.1.1 ecoulement potentiel	19
3.1.2 Ecoulement stationnaire.....	19
3.1.3 Ecoulement instationnaire.....	19

CHAPITRE 2 : Mathématique

1. Généralité mathématique	22
1.1 Equation du champ moyen.....	23
1.1.1 La moyenne d'ensemble.....	23
1.1.2 La moyenne temporelle	23
1.1.3 Notations	24
1.2 Equations de quantité de mouvement (de Navier Stokes).....	24
1.3 Décomposition statique	24
1.3.1 Règles de Reynolds	25
1.3.2 Les tensions de Reynolds	25
1.3.3 Equation de continuité :(conservation de la masse).....	26

Table des matières

1.3.4 Equation de transport de quantité de mouvement.....	26
2. Les modèles de turbulences.....	27
2.1 Modèle de turbulence k-	27
a- Equation de transport de l'énergie cinétique turbulente k	28
b- Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulent.....	28
2.1.1 Détail sur la procédure de la résolution.....	29
2.2 Modèle de turbulence SST.....	31
2.2.1 Les équations de transports du modèle SST	31
2.2.2 Equation de diffusive.....	31
a- Equation de diffusivité	32
b- Equation de viscosité turbulente	32
c- Nombre de Prandtl.....	32
d- les fonctions de diffusives	32
2.2.3 Production du model de turbulence	32
2.2.4 Les équations de dissipation.....	33
2.2.5 Diffusion croisée	33
2.2.6 La valeur des constantes	

CHAPITRE 3: SIMULATION NUMERIQUE

1. Généralité.....	36
1.1 La méthode des volumes finis	36
2. Les étapes de développement du projet sur Ansys CFD fluent	37
2.1 L'édition de la géométrie	37
2.2 la construction du maillage.....	39
2.2.1 Type de maillage.....	39
2.2.2 Construction du maillage general.....	40
2.2.3 Création du maillage de la couche limite ou inflation	42
2.2.4 Qualité du maillage.....	46
2.2.5 vérification de qualité de maillage	49
2.2.6 Résultat final du maillage	50
2.3 Configuration des données fluent	53
2.3.1 Généralité sur le code Fluent.....	53
a- Initialisation	55
b- method de la solution.....	55
b-1-La consistance.....	55
b-2- la stabilité.....	55
b-3-la convergence	55
b-4- la conservation	55
b-5- Bornes à ne pas dépasser.....	55
b-6- Réalisabilité.....	56
b-7- Exactitude.....	56
2.3.2 Configuration de fluent	56

Table des matières

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

1.Cas du cylindre et carré 2Det nombre de Reynolds 1600.....	64
1.1 Visualisation Générale	64
1.2 Les Lignes De Courant	65
1.2.1 Observation	70
1.2.2 Explication	70
1.3 Etude des lignes de courbure	71
1.3.1 La Véllocité.....	71
1.3.1.1 Observation	76
1.3.1.2 Explication	76
1.3.2Contour	De 77
Pression.....	
1.3.2.1 Observation	78
1.3.2.2 Explication	78
1.3.3 Energie Cinétique	79
1.3.3.1 Observation	82
1.3.3.2Explication.....	82
1.3.4 Conclusion	82
2.Cas De Géométries 2D Avec Reynolds 75, 100 Et 125	84
2.1 Le Coefficient De Portance (Cl)	85
2.1.1 Analyse	85
2.1.2 Analyse	87
2.2 Le Nombre De Strourhal	87
2.2.1 Explications	89
3.Cas du carré en 3D et nombre de Reynolds égale à 21400	90
3-1 Nos résultats	90
Conclusion general.....	92
