

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : Genie Mécanique

Option: Transport et Distribution des Hydrocarbures

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER

Thème

**Simulation numérique de l'écoulement du gasoil
dans des conduits de différentes formes géométriques**

Présenté par:

Abdennacer BADI

Proposé et dirigé par:

Dr. Adnane LABED

Promotion : Juin 2017

Dédicace

*A toute ma famille, qui m'a éclairé le
chemin et m'a donné la main tout le
long de mes années d'étude.*

Aussi je dédie ce travail à :

Mes amis sans citer les noms.

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant qui nous éclaire le bon chemin.

Je remercie vivement et chaleureusement **Monsieur A. Labeled** docteur à l'Université de Biskra, encadreur de ce mémoire, pour son aide et ses conseils qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur **M. Zellouf**, Enseignant à l'Université Mohammed khider –Biskra, pour ses conseils.

Je tiens à remercier Monsieur **N. Belghar**, Enseignant à l'Université Mohammed khider –Biskra, pour ses orientations.

J'adresse mes vifs remerciements à tous les enseignants pour leurs conseils, leurs encouragements et leurs soutiens durant tout mon parcours de formation à l'Université Mohammed khider–Biskra.

Je tiens également à remercier tous mes collègues pour leurs soutiens et leur motivation.

A tous, je tiens à exprimer mes sincères remerciements.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	IX
Nomenclature.....	X
Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralités sur les écoulements des fluides	
I.1.Introduction :.....	2
I.2.Classification des écoulements :.....	2
I.2.1. Critères géométriques et cinétiques :.....	2
I.2.1.1.Ecoulements externes :.....	2
I.2.1.2. Ecoulements internes dans les conduits :.....	2
I.2.1.3.Ecoulement de Couette cylindrique :.....	3
I.2.1.4. Ecoulement de Poiseuille dans un tube cylindrique :.....	3
I.2.1.5. Ecoulements permanents (stationnaires) et instationnaires :.....	3
I.2.1.6.Ecoulements unidimensionnels et bidimensionnels :.....	4
I.2.2.Critères physiques :.....	4
I.2.2.1. Ecoulements compressibles et incompressibles :.....	4
I.2.2.2. Fluides parfait et réel :.....	4
I.2.2.3.Masse volumique :.....	5
I.2.2.4.Viscosité :.....	5
I.2.2.5. Fluides newtoniens et non newtoniens :.....	6
I.3.Régime d'écoulement :.....	7
I.3.1. Ecoulement laminaire ou turbulent: nombre de Reynolds :.....	7
I.3.2. Couche limite dans une conduite :.....	8
I.4. Pertes de charge :.....	9
I.4.1. Linéaires ou régulières :.....	9
I.4.2. Singulières :.....	11
I.4.3. Rugosité :.....	13
I.5.Ecoulement de fluides incompressibles dans la Singularité :.....	14
I.5.1. Changement de section :.....	14
I.5.1.1. Elargissement et rétrécissement dans une conduite :.....	14

I.5.1.2. Sortie d'un réservoir :	14
I.5.2.Changement de direction :	15
I.5.2.1.Coude :	15
Chapitre II : Etude théorique du problème	
II.1.Introduction :	16
II.2.Equations générales :	16
II.3. Hypothèses simplificatrices :	17
II.4.Formulation mathématique :	18
II.4.1.Equation de continuité :	18
II.4.2.Conservation de la quantité de mouvement :	18
II.4.2.1. Cas régime du régime laminaire :	18
II.4.2.2.Cas du régime turbulent (modèle $k-\epsilon$) :	18
II.4.2.2.1.Modèle $k-\epsilon$ standard :	18
II.4.2.2.2. Les équations en modèle $k-\epsilon$:	19
II.5.Méthode des volumes finis :	19
II.5.1.Principe de la méthode :	20
II.5.2.Discrétisation :	21
II.5.3. Maillage décalé pour évaluer les vitesses:	21
Chapitre III : Simulation numérique	
III.1.Introduction	23
III.2. Les différentes géométries :	23
III.3. Conditions aux limites	25
III.4. Généralités sur l'Ansys-Workbenche :	25
III.5.Création des géométries et du maillage :	26
III.5.1. Première configuration :	26
III.5.1.1.Création de la géométrie :	27
III.5.1.1.1. Insertion des cotes :	29
III.5.1.1.2. Créations de la surface à mailler :	29
III.5.1.2.1.Le maillage :	30
III.5.1.2.2. Nomination des différentes parties :	31
III.5.2. Deuxième configuration :	32
III.5.2.1. Création de la géométrie :	32
III.5.2.2. Le maillage :	33
III.5.2.3.Nomination des différentes parties :	33
III.5.3. Troisième configuration :	34

III.5.3.1. Création de la géométrie :	34
III.5.3.2. Le maillage	35
III.5.3.3. Nomination des différentes parties :.....	35
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1.Introduction :.....	36
IV.2.La convergence :.....	37
IV.2.1.Conduite cylindrique :.....	37
IV.2.2.Conduite conique :.....	38
IV.2.3.Conduite coudée (90°):.....	39
IV.3.Résultats et discussions :.....	41
IV.3.1. Conduite cylindrique :.....	41
IV.3.2. Conduite conique (convergeant) :.....	43
IV.3.3. Conduite coudé à 90° :.....	45
Conclusion générale.....	48
Références bibliographique.....	49

Listes des figures

Figure(I.1) : Ecoulement interne dans une conduite	2
Figure (I.2) : Dispositif de Couette	3
Figure (I.3): Comparaison de l'écoulement d'un fluide parfait et réel dans diverses situations	5
Figure (I.4) : Les formes typiques des divers rhéogrammes des fluides homogènes	6
Figure (I.5) : Filet coloré de régime d'écoulement	7
Figure (I.6) : Profils de vitesse dans une conduite circulaire	8
Figure (I.7) : Couche limite laminaire dans une conduite circulaire	8
Figure (I.8) : Couche limite turbulente dans une conduite circulaire	9
Figure (I.9) : Pertes de charge linéiques et singulières	9
Figure (I.10) : Elargissement et rétrécissement dans une conduite	14
Figure (I.11) : Sortie d'un réservoir	15
Figure (I.12) : Evolution des lignes de courant dans un coude circulaire	15
Figure (II.1) : Etapes de résolution par la méthode des volumes finis	20
Figure (II.2) : Volume de contrôle pour la méthode des volumes finis	21
Figure (II.3) : Maillage décalé 2-D (pour évaluer les vitesses	22
Figure (III.1) : pistolets d'une pompe à essence	23
Figure (III.2) : Géométrie cylindrique	24
Figure (III.3) : Géométrie conique	24
Figure (III.4) : Coude à 90°	24
Figure (III.5) : Interface de création d'un projet sous Workbench	26
Figure (III.6) : Présentation d'une interface de création de la géométrie	27
Figure (III.7) : Création du repère	38
Figure (III.8) : Création de l'esquisse	38
Figure (III.9) : esquisse et cotes de la première configuration	39

Figure (III.10) : Création de la surface à mailler pour la 1ère configuration (cylindre)	30
Figure (III.11) : Création du maillage du cylindre	31
Figure (III.12) : Nomination des différentes parties du cylindre	32
Figure (III.13) : Création du maillage de la surface du convergeant	32
Figure (III.14) : Création du maillage de la deuxième configuration	33
Figure (III.15) : Nomination des différentes parties de la deuxième configuration	34
Figure (III.16) : Création de la surface à mailler de la troisième configuration	34
Figure (III.17) : Création du maillage du coude	35
Figure (III.18) : Nomination des différentes parties du coude	35
Figure (IV.1) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_1 = 0.1\text{m/s}$)	37
Figure (IV.2) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_2 = 0.4\text{m/s}$)	37
Figure (IV.3) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_3 = 1\text{m/s}$)	38
Figure (IV.4) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_1 = 0.1\text{m/s}$)	38
Figure (IV.5) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_2 = 0.4\text{m/s}$)	39
Figure (IV.6) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_3 = 1\text{m/s}$)	39
Figure (IV.7) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_1 = 0.1\text{m/s}$)	40
Figure (IV.8) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_2 = 0.4\text{m/s}$)	40
Figure (IV.9) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations. ($V_3 = 1\text{m/s}$)	40
Figure (IV.10) : Contour de la vitesse ($V_1 = 0.1\text{ m/s}$)	41
Figure (IV.11) : Contour de la vitesse ($V_2 = 0.4\text{ m/s}$)	42
Figure (IV.12) : Contour de la vitesse ($V_3 = 1\text{ m/s}$)	42
Figure (IV.13) : Contour de pression ($V_1 = 0.1\text{ m/s}$)	43
Figure (IV.14) : Contour de pression ($V_2 = 0.4\text{ m/s}$)	43
Figure (IV.15) : Contour de pression ($V_3 = 1\text{ m/s}$)	43
Figure (IV.16) : Contour de la vitesse ($V_1 = 0.1\text{ m/s}$)	44

Figure (IV.17) : Contour de la vitesse ($V_2 = 0.4$ m/s)	44
Figure (IV.18) : Contour de la vitesse ($V_3 = 1$ m/s)	44
Figure (IV.19) : Contour de pression ($V_1 = 0.1$ m/s)	45
Figure (IV.20) : Contour de pression ($V_2 = 0.4$ m/s)	45
Figure (IV.21) : Contour de pression ($V_3 = 1$ m/s)	45
Figure (IV.22) : Contour de la vitesse ($V_1 = 0.1$ m/s)	46
Figure (IV.23) : Contour de la vitesse ($V_2 = 0.4$ m/s)	46
Figure (IV.24) : Contour de la vitesse ($V_3 = 1$ m/s)	46
Figure (IV.25) : Contour de pression ($V_1 = 0.1$ m/s)	47
Figure (IV.26) : Contour de pression ($V_2=0.4$ m/s)	47
Figure (IV.27) : Contour de pression ($V_3 = 1$ m/s)	47

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Perte de charge Linéiques (changement la section et la vitesse)	11
Tableau I.2 : Evaluation du module de perte de charge	12
Tableau I.3 : Valeurs usuelles de la rugosité	13
Tableau II.1: Caractéristiques de la viscosité	18

Nomenclature

U	La vitesse moyenne de l'écoulement	[m/s].
u	Composantes de la vitesse suivant la direction x	[m/s].
v	Composantes de la vitesse suivant la direction y	[m/s].
P	Pression	[Pa].
k	Coefficient dépendant de la nature de la résistance locale (module de perte de charge)	
G	La production de k par le mouvement moyen	
τ_{xy}	Le rapport du cisaillement	
g	Accélération de la pesanteur	
t	Temps	[s].
T	Température	[°C].
ε	Rugosité de la surface interne de la conduite	[m].
R1, R2	Rayon de conduite intérieur et Rayon de conduite extérieur	[m].
Re	Nombre de Reynolds	
x, y	Cordonnées cartésiennes	
K	L'intensité de turbulent	[m ² /s ²].
λ	Coefficient de perte de charge linéaire	
ϵ	Taux de dissipation de la turbulence	[m ² /s ²].
D	Diamètre hydraulique de la conduite	[m].
ΔP_s	Perte de charge singulière	[Pa].
L	La longueur caractérisé	[m].
$\Delta x \Delta y$	Dimensions du volume de contrôle /	
δ	Epaisseur de la couche limite dynamique	[m].
\emptyset	Propriété transportée	
μ	La viscosité dynamique du fluide	[Kg/m.s].
ν	La viscosité cinématique	[m ² /s].
ρ	La masse volumique du fluide	[Kg/m ³].
Γ	Coefficient de diffusion	[m ² /s].
δ_{ij}	Tenseur des vitesses de déformations	
Q	Le terme de source	

Introduction générale

La mécanique des fluides est un domaine de recherche gouverné par les lois de la physique. Elle décrit plusieurs phénomènes, naturels ou autres, qu'on observe autour de nous dans la vie quotidienne. Les études et les recherches faites dans ce domaine, servent à comprendre et à décrire l'écoulement des liquides et des gaz et leurs interactions avec les corps solides.

Les problèmes de la mécanique des fluides les plus intéressants sont aussi les plus complexes à étudier. Ils sont souvent régis par un grand nombre de paramètres non linéaires interagissant entre eux.

Dans ce travail de Master, nous étudions l'écoulement du gasoil dans des conduites de différentes géométries et pour différentes valeurs de vitesses d'écoulement. Le but est de simuler l'écoulement du gasoil dans le pistolet d'une pompe à essence, ceci en utilisant un logiciel de simulation ANSYS Workbench version-17.2.

Par conséquent, c'est l'ensemble de toutes ces considérations qui nous a amené à entreprendre ce travail réparti en quatre chapitres:

Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur les écoulements des fluides et leurs propriétés.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des équations et de la méthode (Méthode volume finis) dont le problème est résolu.

Dans le troisième chapitre, nous expliquons les étapes de création de la géométrie et du maillage ainsi que les étapes de simulation, afin de servir comme manuel pour les futures étudiants.

Dans le quatrième chapitre nous présentons les résultats issus du modèle numérique ainsi que leurs interprétations.

Enfin nous terminons ce travail par une conclusion générale qui englobe les résultats aboutis ainsi que les recommandations qui peuvent être déduites.

I.1.Introduction :

La mécanique des fluides est l'étude des mouvements des fluides, qu'ils soient liquide ou gaz. La résolution d'un problème de mécanique de fluides demande normalement de calculer diverses propriétés des fluides comme par exemple la vitesse, la pression, la densité et la température en tant que fonctions de l'espace et du temps [1].

I.2.Classification des écoulements :

Le classement des écoulements, se fait on se basant sur des critères de nature physique, géométrique, ou cinématique [2].

I.2.1. Critères géométriques et cinétiques :

I.2.1.1.Ecoulements externes :

Dans les problèmes d'aérodynamique externe, on s'intéresse aux écoulements autour de profils, d'obstacle ou de corps, les tubes de courant situés hors du sillage et à l'extérieur de la couche limite située dans le voisinage proche des parois ne subissent pas influence des effets de viscosité ou de conduction de chaleur [2].

I.2.1.2. Ecoulements internes dans les conduits :

Les écoulements internes se font à l'intérieure d'une conduite et sont limités par des parois fixes ou mobiles. Si le conduit n'est pas de grande longueur, le frottement pariétal est négligeable [2].

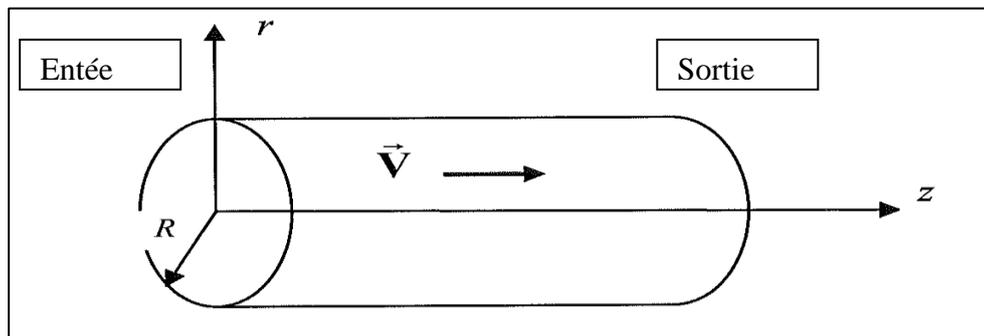


Figure (I.1) : Ecoulement interne dans une conduite[2].

I.2.1.3. Ecoulement de Couette cylindrique :

Un dispositif de Couette cylindrique est composé de deux cylindres concentriques de longueur L , de rayons intérieur R_1 et extérieur R_2 ($L \gg R_2 - R_1$). On place dans l'entrefer un fluide généralement incompressible de masse volumique ρ et de viscosité dynamique μ et on impose une rotation uniforme à chacun des cylindres. On s'intéresse au régime stationnaire, ce type d'écoulement est appelé écoulement de Couette [3].

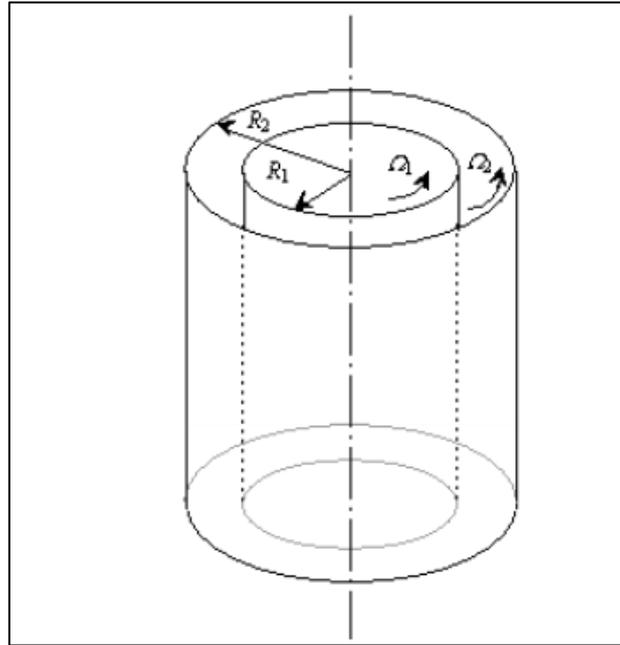


Figure (I.2) : Dispositif de Couette [3].

I.2.1.4. Ecoulement de Poiseuille dans un tube cylindrique :

Un écoulement de poiseuille est un écoulement qui suit une loi de poiseuille. De manière générale la loi de poiseuille énonce de façon théorique la relation entre le débit d'un écoulement et la viscosité du fluide, la différence de la pression aux extrémités de la canalisation, la longueur et le rayon de cette canalisation, cette relation est vérifiée expérimentalement dans les canalisations des rayons faibles et est souvent utilisée dans les viscosimètres car elle énonce notamment que le débit est inversement proportionnel à la viscosité [4].

I.2.1.5. Ecoulements permanents (stationnaires) et instationnaires :

On dit que l'écoulement est stationnaire si la vitesse ne dépend pas du temps cela ne signifie pas que la particule n'est pas accélérée. Cela signifie simplement que les lignes de

courants n'évoluent pas au cours du temps. Dans ce cas, toutes les dérivés partiels par rapport au temps s'annulent.

Un écoulement est dit instationnaire si les variables dérivant le mouvement dépendent du temps [5].

I.2.1.6. Ecoulements unidimensionnels et bidimensionnels :

On dit qu'un écoulement est unidimensionnel si dans chaque section de l'écoulement, toutes les variables sont des constantes. En d'autres termes, dans un écoulement unidimensionnel, toutes les variables dépendent d'une coordonnée d'espace unique.

Dans un écoulement bidimensionnel, toutes les variables dépendent de deux variables d'espace suivant les axes (x, y) [5].

I.2.2. Critères physiques :

I.2.2.1. Ecoulements compressibles et incompressibles :

Les fluides peuvent aussi être classés en deux autres catégories : les liquides et les gaz. On considérera, dans la suite, que les premiers sont incompressibles, ce qui n'est vrai qu'en première approximation, alors que les seconds sont essentiellement compressibles.

Dans certains cas cependant, l'écoulement d'un gaz peut s'étudier comme celui d'un fluide incompressible, en particulier, lorsque la température et la pression varient faiblement.

Alors, un fluide est appelé compressible si les changements de la densité du fluide ont des effets significatifs sur l'ensemble de la solution. Dans le cas contraire, il s'agit d'un fluide incompressible et le changement de densité sont ignorés [6].

I.2.2.2. Fluides parfait et réel :

Fluide parfait = non visqueux = absence de résistance à l'écoulement = il peut s'écouler à l'infini (notion théorique).

Fluide réel = non parfait = forces de frottements qui s'opposent à l'écoulement = visqueux [7].

	Fluide parfait	Fluide réel
Écoulement en conduite	<p>$V = \text{Cste}$ pour tout r $P = \text{Cste}$ pour tout x</p>	<p>Laminaire $V = V(r)$ Turbulent</p>
Écoulement autour d'un cylindre	<p>$V_A = V_B$ $P_A = P_B$ Trainée = 0</p>	<p>Trainée > 0 tourbillons</p>
Écoulement sur une paroi plane	<p>Trainée = 0</p>	<p>$V = V(y)$ Trainée > 0</p>
Écoulement dans un divergent	<p>$\Delta H = 0$ pas de perte de charge</p>	<p>Recirculations -> $H_2 < H_1$</p>

Figure (I.3) : Comparaison de l'écoulement d'un fluide parfait et réel dans diverses situations [7].

I.2.2.3. Masse volumique :

La masse volumique d'un corps est le rapport entre la masse et le volume occupé. Elle est fonction de la température et de la pression. Notée $\rho (T, P)$, elle s'exprime en kg / m^3 [8].

I.2.2.4. Viscosité :

La viscosité se définit comme la résistance opposée par le fluide à sa mise en mouvement. Nous mettons en évidence plusieurs types de comportement : fluide parfait, fluide newtonien, fluide épaississant, fluide plastique.

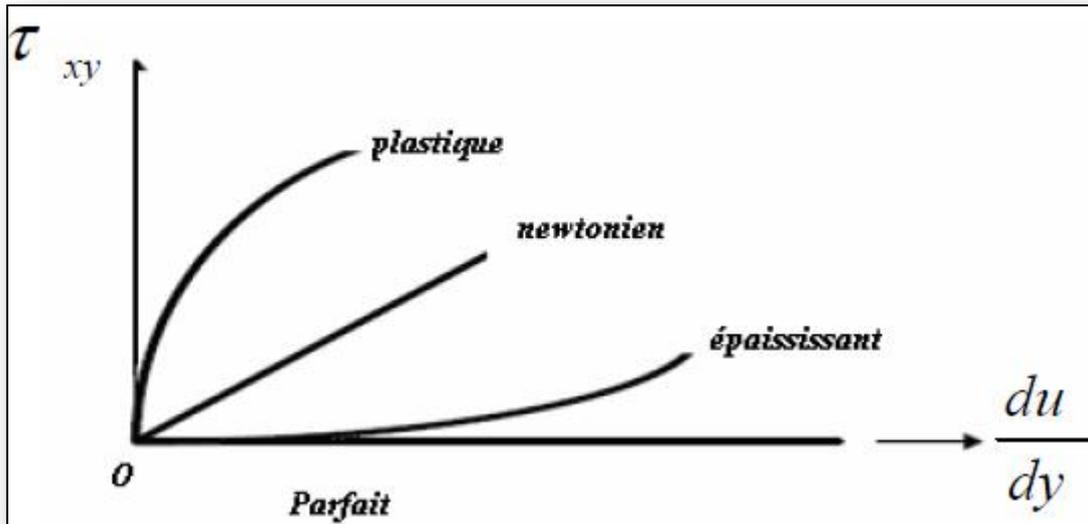


Figure (I.4) : Les formes typiques des divers rhéogrammes des fluides homogènes [8].

En un point $M(x, y)$, la viscosité dynamique se définit comme le rapport du cisaillement dans le plan (x, y) au gradient de la vitesse.

- $\mu = \frac{\tau_{xy}}{du/dy}$

Nous définissons la viscosité cinématique comme le rapport entre le coefficient de viscosité absolue μ et la masse volumique du fluide ρ .

- $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

La viscosité varie avec la température et avec la pression [8].

I.2.2.5. Fluides newtoniens et non newtoniens :

Par rapport aux faits expérimentaux, nous sommes conduits à considérer deux types de fluides :

Les fluides newtoniens qui satisfont à la loi de Newton. Ces fluides ont un coefficient de viscosité indépendant du gradient de vitesse. C'est le cas des gaz, des vapeurs, des liquides purs de faible masse molaire.

Les fluides non newtoniens ce sont les solutions de polymères, les purées, les gels, le sang, la plupart des peintures, etc.... [8].

I.3. Régime d'écoulement :

En écoulement de fluide réel, on distingue deux grands types de comportement. Chacun de ces comportements caractérise un régime d'écoulement particulier : le régime laminaire et le régime turbulent [4].

I.3.1. Ecoulement laminaire ou turbulent: nombre de Reynolds :

Les expériences réalisées par Reynolds (1883) lors de l'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique rectiligne, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : laminaire et turbulent.

Un écoulement est dit laminaire lorsque le mouvement des particules fluides se fait de façon régulière et ordonnée. L'écoulement est turbulent lorsque le déplacement est irrégulier et que des fluctuations aléatoires de vitesse se superposent au mouvement moyen du fluide.

En utilisant des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds et donné par : $Re = UD/\nu$ ou $Re = \rho VD/\mu$. U est la vitesse moyenne de l'écoulement, D le diamètre de la canalisation et ν la viscosité cinématique du fluide, μ la viscosité dynamique et ρ masse volumique du fluide [9].

L'expérience montre que :

- si $Re < 2000$ le régime est laminaire
- si $2000 < Re < 3000$ le régime est intermédiaire
- si $Re > 3000$ le régime est turbulent [9]

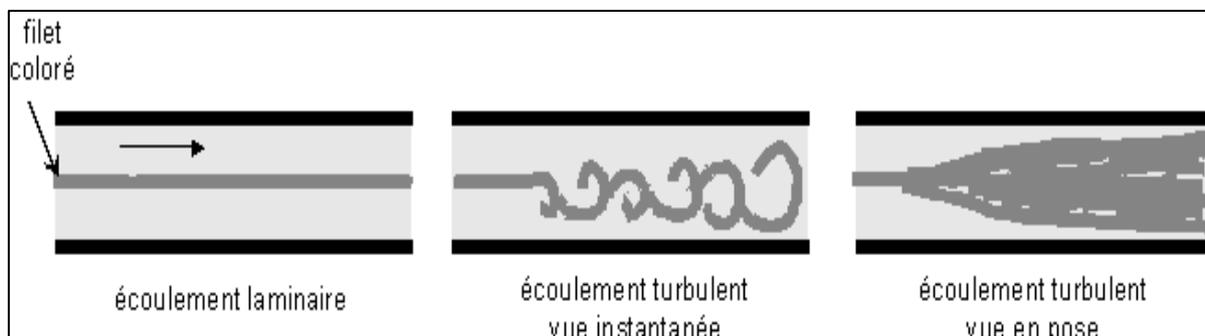


Figure (I.5) : Filet coloré de régime d'écoulement [9].

La viscosité engendre un gradient de vitesse dans une section droite de conduite : à la paroi, la vitesse du fluide est nulle (c'est la condition d'adhérence) ; la vitesse est maximale au centre de la conduite.

La figure ci-dessous montre les différents types de profils rencontrés en fonction du type de fluide et du régime d'écoulement [10].

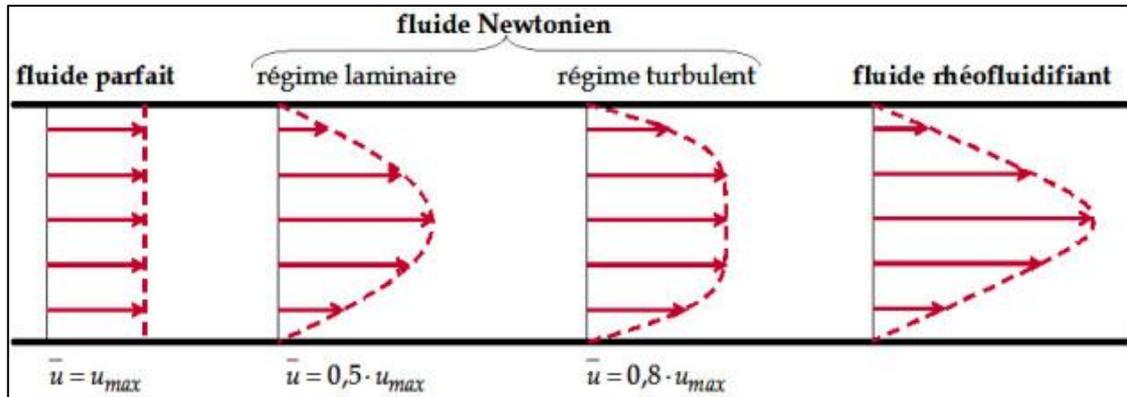


Figure (I.6) : Profils de vitesse dans une conduite circulaire [10].

I.3.2. Couche limite dans une conduite :

À l'intérieur d'une conduite, on observe également le développement d'une couche limite, comme la montre les figures suivantes. Toutefois, dans cette géométrie confinée, au bout d'une distance suffisamment longue par rapport à l'entrée dans la conduite, la couche limite envahit toute la conduite. [10]

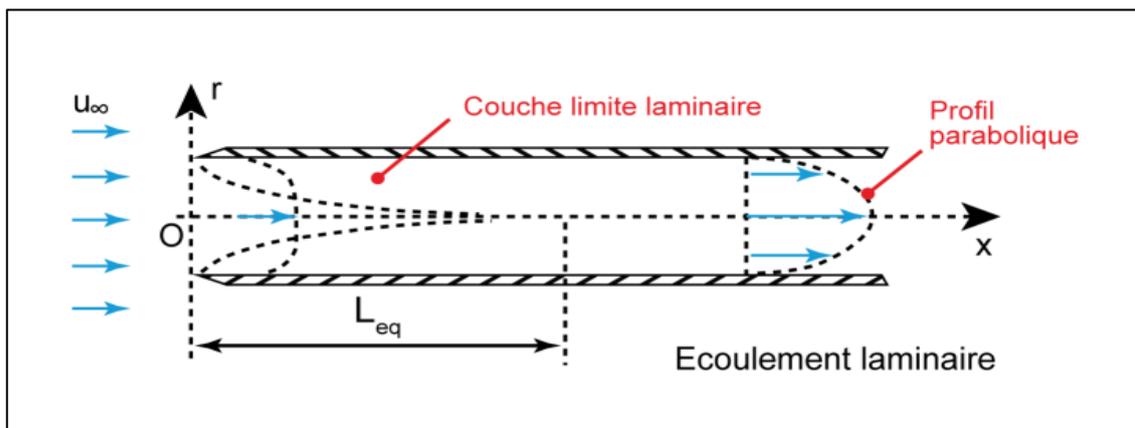


Figure (I.7) : Couche limite laminaire dans une conduite circulaire [10].

Ainsi, si la couche limite envahit toute la conduite alors que la couche limite n'était encore que laminaire, l'écoulement dans la conduite sera laminaire (figure de gauche), on comprend que ceci se produira en particulier si la conduite a un faible diamètre. [10]

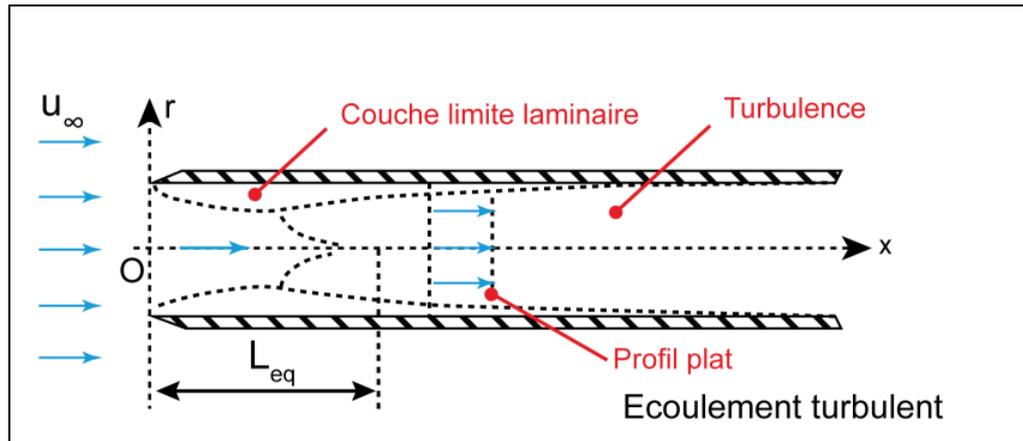


Figure (I.8) : Couche limite turbulente dans une conduite circulaire [10].

I.4. Pertes de charge :

Les pertes de charge sont des chutes de pression dues à la résistance que rencontrent les fluides en écoulement : les actions de cisaillement occasionnent en effet des pertes énergétiques [11].

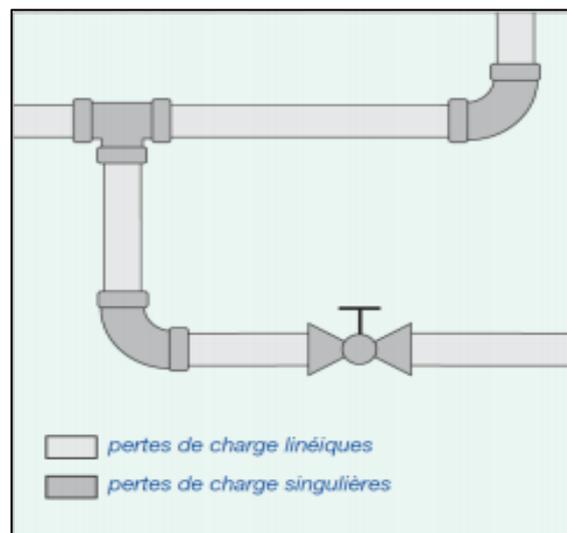


Figure (I.9) : Pertes de charge linéiques et singulières.

Les pertes de charge peuvent être :

I.4.1. Linéiques ou régulières :

Les pertes de charge linéaires sont proportionnelles à la longueur L de conduite, inversement proportionnelles à son diamètre d , proportionnelle au carré de la vitesse débitante V du fluide [6].

$$J_L = - \lambda \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \frac{L}{d}$$

- V : vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s)
- L : longueur de la conduite (m)
- d : diamètre de la conduite (m)
- λ : coefficient de perte de charge linéaire. Il dépend du régime d'écoulement notamment du nombre de Reynolds Re.

- Dans un régime d'écoulement laminaire : $Re < 2000$

$$\lambda = 64 / Re \text{ (Formule de Poiseuille)}$$

- Dans un régime d'écoulement turbulent lisse : $2000 < Re < 10^5$

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} \text{ (Formule de Blasius)}$$

- Dans un régime d'écoulement turbulent rugueux : $Re > 10^5$

$$\lambda = 0,79 \sqrt{\frac{\varepsilon}{d}} \text{ (Formule de Blench)}$$

Avec : ε : rugosité de la surface interne de la conduite (mm).

d : diamètre intérieur de la conduite (mm).

Parfois, on lit la valeur de λ sur un abaque établie par Moody [6].

Le tableau ci-dessous présente la perte de charge linéaire en Pascal / mètre en fonction de la vitesse de transport et le diamètre des conduits. Les débits indiqués dans le tableau sont des valeurs arrondies.

Les valeurs de perte de charge sont déterminées à partir de la formule de calcul, et correspondent à une perte de charge linéaire pour de l'air à 20°C avec conduits lisses [6].

Tableau I.1 : Perte de charge Linéiques (changement la section et la vitesse).

Diamètre [mm]	Vitesse = 5 m/s		Vitesse = 10 m/s		Vitesse = 15 m/s		Vitesse = 20 m/s		Vitesse = 25 m/s	
	Débit [m ³ /h]	ΔP lin [Pa/m]								
Ø 50	40	9,5	70	35,1	110	76,6	140	133,8	180	206,8
Ø 63	60	7,0	110	26,1	170	57,0	220	99,6	280	154,0
Ø 75	80	5,6	160	20,9	240	45,7	320	79,8	400	123,4
Ø 80	90	5,2	180	19,3	270	42,1	360	73,6	450	113,7
Ø 100	140	3,9	280	14,6	420	31,8	570	55,5	710	85,8
Ø 125	220	3,0	440	11,0	660	24,0	880	42,0	1100	64,9
Ø 150	320	2,4	640	8,8	950	19,1	1270	33,4	1590	51,7
Ø 160	360	2,2	720	8,1	1090	17,7	1450	30,9	1810	47,7
Ø 180	460	1,9	920	7,0	1370	15,3	1830	26,7	2290	41,2
Ø 200	570	1,6	1130	6,1	1700	13,4	2260	23,4	2830	36,2
Ø 250	880	1,2	1770	4,7	2650	10,2	3530	17,8	4420	27,5
Ø 300	1270	1,0	2540	3,7	3820	8,1	5090	14,2	6360	22,0
Ø 315	1400	0,9	2800	3,5	4210	7,7	5610	13,4	7010	20,7
Ø 350	1730	0,8	3460	3,1	5190	6,7	6920	11,8	8650	18,2
Ø 400	2260	0,7	4520	2,6	6780	5,7	9040	10,0	11300	15,5
Ø 450	2860	0,6	5720	2,3	8580	5,0	11450	8,7	14310	13,4
Ø 500	3530	0,5	7070	2,0	10600	4,4	14130	7,6	17660	11,8
Ø 550	4270	0,5	8550	1,8	12820	3,9	17100	6,8	21370	10,5
Ø 600	5090	0,4	10170	1,6	15260	3,5	20350	6,1	25430	9,5
Ø 630	5610	0,4	11220	1,5	16820	3,3	22430	5,8	28040	8,9
Ø 650	5970	0,4	11940	1,5	17910	3,2	23880	5,6	29850	8,6
Ø 700	6920	0,4	13850	1,3	20770	2,9	27690	5,1	34620	7,9
Ø 710	7120	0,3	14250	1,3	21370	2,9	28490	5,0	35610	7,7

I.4.2. Singulières :

Elles se manifestent sur les pièces spéciales qui modifient la direction ou la section de passage du fluide (raccord, T, vannes, soupapes, etc.)

Calcul perte de charge singulière, Il est fondamental de savoir les calculer :

- Pour dimensionner les conduites d'écoulement.
- Pour calculer les caractéristiques des pompes et ventilateurs qui provoquent et/ou maintiennent l'écoulement des fluides [11].

Les pertes de charges singulières correspondant aux accidents de parcours dans les réseaux hydrauliques et sont exprimées par la relation suivante :

$$\Delta P_s = K \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

- ΔP_s = perte de charge singulière en Pa.
- ρ = masse volumique du fluide en kg/m³.
- V = vitesse d'écoulement en m/s.

- K = coefficient dépendant de la nature de la résistance locale (module de perte de charge).

A noter que : $\frac{\rho V^2}{2}$, n'est autre que la pression dynamique du fluide.

Les pertes de charge modulaires sont classées en 2 catégories :

- Celles qui sont à valeur constante quel que soit le diamètre du réseau utilisé, tel que les changements de section (réductions, entrées et sorties de canalisations)
- Celles qui varient en fonction du diamètre de réseaux, dont la perte de charge est due essentiellement par frottement et turbulence se produisant comme par exemple dans une vanne.

Coefficients K à valeur constante :

Dans cette catégorie, les coefficients de module de charge sont fonction principalement du changement de section.

A noter que les valeurs suivantes sont toutes établies en fonction du plus petit diamètre.

Cette valeur peut être convertie sur le plus grand diamètre par $(D\text{-grand}/d\text{-petit})^4$ [12].

Tableau I.2 : Evaluation du module de perte de charge.

Changement de section	K
Réduction concentrique élargissement $d_1/d_2 = 0.90$	0.026
Réduction concentrique élargissement $d_1/d_2 = 0.80$	0.13
Réduction concentrique élargissement $d_1/d_2 = 0.75$	0.16
Réduction concentrique élargissement $d_1/d_2 = 0.67$	0.28
Réduction concentrique élargissement $d_1/d_2 = 0.50$	0.5
Réduction concentrique – rétrécissement $d_1/d_2 = 0.90$	0.008
Réduction concentrique rétrécissement $d_1/d_2 = 0.80$	0.041
Réduction concentrique rétrécissement $d_1/d_2 = 0.75$	0.049
Réduction concentrique rétrécissement $d_1/d_2 = 0.67$	0.085
Réduction concentrique rétrécissement $d_1/d_2 = 0.50$	0.16

Entrée et sortie conduite	
Entrée conduite de niveau $r/d = 0.00$ (angle vif)	0.5
Entrée conduite de niveau $r/d = 0.02$	0.28
Entrée conduite de niveau $r/d = 0.04$	0.24
Entrée conduite de niveau $r/d = 0.06$	0.15
Entrée conduite de niveau $r/d = 0.10$	0.09
Entrée conduite de niveau $r/d > 0.15$ (bien arrondie)	0.04
Entrée conduite saillante	0.78
Sortie canalisation	1

I.4.3. Rugosité :

Pour les conduites industrielles et un régime turbulent ($Re > 2300$), le coefficient de frottement dépend de la rugosité (cf. Théorie des pertes de charge ci-dessus).

La rugosité considérée est la rugosité absolue k en mm, et non la rugosité relative k/D .

Avec l'augmentation de la rugosité, les pertes de charge augmentent. Cependant, plus le nombre de Reynolds augmente et moins elle a d'influence sur les pertes de charge. [4]

Tableau I.3 : Valeurs usuelles de la rugosité.

	Elément neuf	Elément usagé	Elément encrassé
Fonte	0.15	0.50	3.00
Acier	0.05	0.50	3.00
Cuivre	0.01	0.03	0.50
Polyéthylène	0.01	0.03	0.50

I.5.Écoulement de fluides incompressibles dans la Singularité :

I.5.1. Changement de section :

I.5.1.1. Elargissement et rétrécissement dans une conduite :

La transition entre deux conduites de diamètre différent pour un écoulement en charge provoque une répartition transversale des vitesses longitudinales totalement différentes de celles vues précédemment.

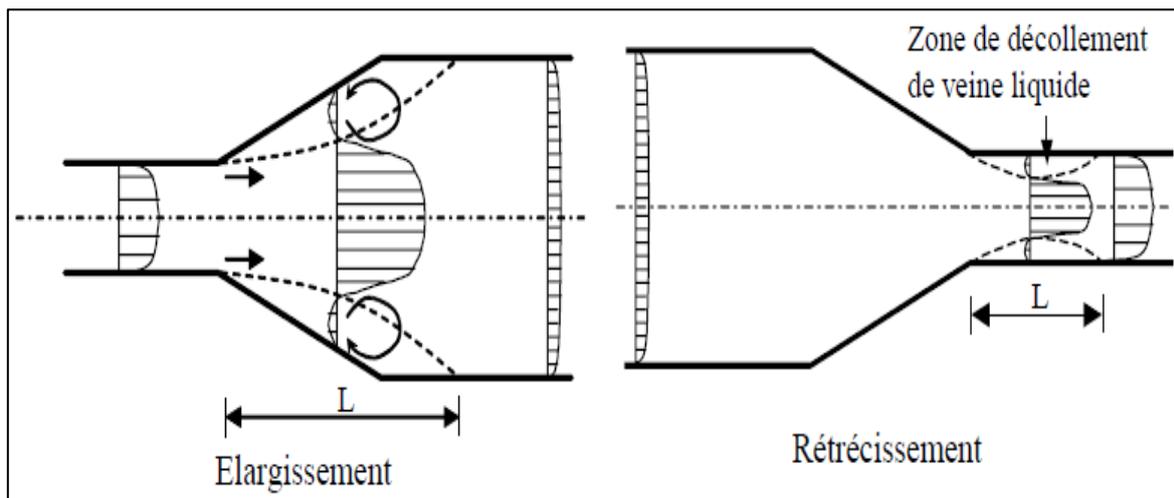


Figure (I.10) : Elargissement et rétrécissement dans une conduite [13].

On constate une zone où les veines liquides proches de la paroi se décollent sur une longueur L . Dans cette zone, on observe des recirculations à l'origine de perturbations importantes dans l'écoulement. [13]

I.5.1.2. Sortie d'un réservoir :

La sortie d'un réservoir provoque également une modification de la répartition de la vitesse et une zone de décollement de la veine liquide [13].

On remarque que les lignes de courant (ligne enveloppe du champ de vitesse) se resserrent au passage de la zone de recirculation. La présence de cette zone a pour effet de diminuer légèrement la section de passage de l'écoulement [13].

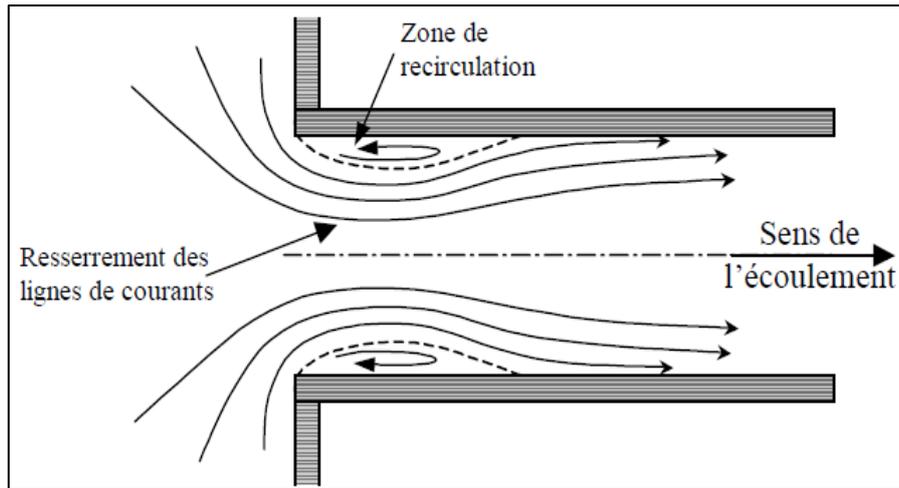


Figure (I.11) : Sortie d'un réservoir [13].

I.5.2.Changement de direction :

I.5.2.1.Coude :

Le mécanisme interne de l'écoulement au travers d'un coude n'est pas encore bien connu, malgré le grand nombre de chercheurs qui ont analysé cet élément important [13].

En raison de la courbure de la conduite, un mouvement hélicoïdal des lignes de courant peut s'établir. La présence de ce mouvement de rotation persiste sur une longueur en aval du coude (à peu près 50 fois le diamètre de la conduite). Lorsque la courbure est importante, des zones de recirculation peuvent apparaître.

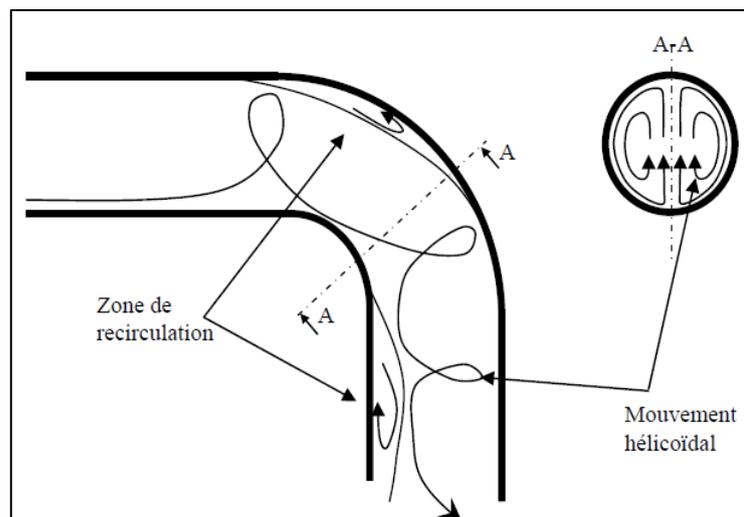


Figure (I.12) : Evolution des lignes de courant dans un coude circulaire [13].

II.1.Introduction :

En mécanique des fluides, on suppose que le fluide est un milieu continu, ce qui permet d'utiliser les lois classiques de conservation :

- Conservation de masse.
- Conservation de la quantité de mouvement. [8]

Dans ce mémoire, la résolution du problème est effectuée par le logiciel ANSYS version 17.2 basé sur FLUENT, qui est basé à son tour sur la méthode des volumes finis.

Alors, dans ce chapitre nous décrivons brièvement les équations qui gèrent les écoulements considérés, ainsi que les méthodes numériques utilisées par le logiciel pour résoudre les équations de base formulées dans ce chapitre.

II.2.Equations générales :

Les relations nécessaires pour prédire l'évolution d'un écoulement bidimensionnel autour d'un profil sont les équations de Navier-Stokes. Ces équations sont déduites, des principes fondamentaux de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement. Les variables qui en découlent dans le cas le plus général sont :

Les trois composantes de la vitesse U_i , la pression P . Ces variables sont toutes fonctions des coordonnées de l'espace, Nous présenterons ensuite l'ensemble des équations générales de la mécanique des fluides sur lesquelles sont basées les équations régissant l'écoulement.

Nous estimons d'exposer les équations une fois les principes de conservation sont appliqués. Les formes différentielles de l'équation de continuité et l'équation de conservation des quantités de mouvement peuvent être obtenues à partir des relations intégrales sur un volume de contrôle et par l'application du théorème de la divergence.

Si le fluide considéré est newtonien et la pesanteur est la seule force de volume agissant sur le domaine considéré ([5]; [6];[7].), les équations régissant l'écoulement peuvent être exprimées ainsi:

- Conservation de la masse:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{II.1})$$

- Conservation de la quantité de mouvement :

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \left[\rho(\vec{V} \cdot \nabla) \cdot \vec{V} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \right] = -\vec{V}p + \rho g + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left\{ \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right\} + \delta_{ij} \lambda \operatorname{div} \vec{V} \right] \quad (\text{II.2})$$

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

Les termes 1, 2, et 3 de l'équation (II.2) représentent l'accélération totale, convective, et locale. Le terme 4 représente la force de pression, le terme 5 la force de la pesanteur, les termes 6 et 7 les effets visqueux, où normalement la viscosité de dilatation est considérée comme nulle.

(C'est-à-dire $\lambda = -\frac{2}{3}\mu$ d'après l'hypothèse de Stokes). Une discussion détaillée des termes visqueux peut être trouvée dans les travaux de White. Pour les écoulements laminaires incompressibles, la densité et la viscosité sont supposées constantes dans les équations (II.1) et (II.2).

Ces équations représentent un ensemble complet de quatre équations pour quatre inconnues, à savoir, la pression et les trois composantes de la vitesse. Pour des écoulements non visqueux, les deux derniers termes dans l'équation (II.2) sont nuls. Dans la plupart des écoulements internes, le cinquième terme de l'équation (II.2), est négligé.

On se retrouve assez souvent avec des mouvements lents vis-à-vis d'une rotation d'ensemble par exemple pour les écoulements atmosphériques, océaniques ou certains écoulements industriels. Il est alors commode d'écrire l'équation du mouvement dans le référentiel tournant (non galiléen) à la vitesse angulaire constante Ω [14].

II.3. Hypothèses simplificatrices :

Nous supposons, alors, que :

- l'écoulement est permanent.
- l'écoulement est bidimensionnel.
- l'écoulement est incompressible
- le fluide est visqueux (pour les deux cas étudiés : laminaire et turbulent k- ε)

L'absence de transfert de chaleur. [15]

II.4. Formulation mathématique :

Dans cette section, nous allons exposer les différentes étapes de la formulation mathématique nécessaires pour aboutir à l'équation finale régissant ainsi les phénomènes de conservation. Compte tenu des hypothèses précédentes, les équations de base régissant l'écoulement sont données respectivement par : [15]

II.4.1. Equation de continuité :

$$\bullet \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.3})$$

II.4.2. Conservation de la quantité de mouvement :

II.4.2.1. Cas régime du régime laminaire :

- Suivant ox :

$$\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.4})$$

- Suivant oy :

$$\frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.5})$$

II.4.2.2. Cas du régime turbulent (modèle K- ε) :

II.4.2.2.1. Modèle k – ε standard :

C'est un modèle à deux équations pour deux paramètres de turbulence. Le premier caractérise l'intensité de la turbulence (k), le deuxième est le taux de dissipation (ε) de l'énergie turbulente (k,ε) exprime par analyse dimensionnelle, par $\varepsilon = k^{3/2} l^{-1}$, l est l'échelle de longueur des grosses structures de la turbulence et représente la deuxième caractéristique de la turbulence déduire de k et ε. [16]

Par analogie avec la viscosité laminaire, ces caractéristiques sont résumées comme suit :

Tableau II.1: Résumé de caractéristiques de la viscosité

	Viscosité laminaire	Viscosité turbulente
Vitesse caractéristique	Vitesse des molécules	\sqrt{K}
Longueur caractéristique	Libre parcourus moyen de molécules	$l = K^{(3/2)}/\varepsilon$

II.4.2.2.2. Les équations en modèle k - ε :

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho K) + \frac{\partial}{\partial X_j}(\rho K U_j) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\left(\frac{\mu}{\sigma_k} + \frac{\mu_t}{\sigma_{k,t}} \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right) + \mu t G - \rho \varepsilon \quad (\text{II.6})$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial X_i}(\rho \varepsilon U_i) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\left(\frac{\mu}{\sigma_\varepsilon} + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon,t}} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \mu t G - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (\text{II.7})$$

Ou G est la production de k par le mouvement moyen, elle s'exprime sous la forme :

$$G = \frac{\partial U_i}{\partial X_i} \left(\frac{\partial U_j}{\partial X_i} + \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right) \quad (\text{II.8})$$

Les constantes usuelles du modèle de turbulence k- ε ont été obtenues à partir de l'expérience ou de la théorie. Elles ont les valeurs suivantes : [16]

$$C_\mu = 0.09 \quad , \quad C_1 = 1.44 \quad , \quad C_2 = 1.92 \quad , \quad \sigma_k = 1 \quad , \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

II.5.Méthode des volumes finis :

La méthode de volume finis est caractérisée par son avantage de satisfaire la conservation de masse, de quantité de mouvement dans tous les volumes finis et ainsi dans tout le domaine de calcul. Elle facilite la linéarisation non linéaire dans les équations de conservation telle que le terme source par exemple. La méthode consiste à partager le domaine de calcul en plusieurs volumes, ou chaque volume entoure un nœud.

En utilisant différents schémas d'approximations on peut intégrer les termes des équations différentielles modélisâtes sur chaque volume de contrôle, ou les valeurs et les quantités sont stockées aux nœuds de volume de contrôle.

Ces équations algébriques produites expriment la conservation des quantités pour le volume de contrôle et pour tout le domaine de calcul.

La méthode des volumes finis est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles en les transformant en un système d'équations algébriques. [16]

Les éléments importants de cette méthode sont :

- Discrétisation de la zone de calcul (distribution des volumes de contrôle)
- Discrétisation des équations de conservation.
- Algorithme de résolution des systèmes correspondants d'équations différentielles linéaires. [8]

II.5.1.Principe de la méthode :

La méthode des volumes finis est utilisée pour la discrétisation des lois de conservation. Une loi de conservation exprime la conservation d'une quantité $q(x, t)$, qui peut être une énergie, une masse....etc. [14]

$$Q(x, y) + \text{div } F(x, y) = f(x, y) \quad (\text{II.9})$$

$$\text{div } F = \frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \dots \dots \dots = \frac{\partial F_d}{\partial x_d} \quad (\text{II.10})$$

Avec : $d = 1, 2$ ou 3

F : la quantité de flux qui exprime un mécanisme de transport de q . le terme de source exprime un échange volumique possible dû par exemple aux réactions chimiques entre les quantités conservation. [15]

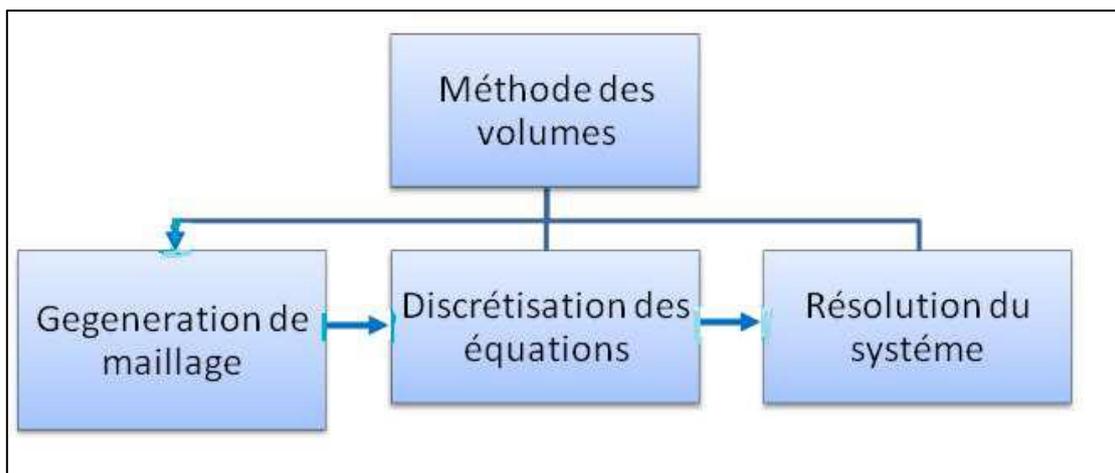


Figure (II.1) : Etapes de résolution par la méthode des Volumes finis [15].

Le domaine d'étude est subdivisé en volumes élémentaires de telle manière que chaque volume entoure un nœud du maillage (celui des différences finies).

Pour calculer l'intégrale sur ce volume élémentaire, la fonction inconnue est représentée à l'aide d'une fonction d'approximation (linéaire, exponentielle) entre deux nœuds consécutifs, ensuite la forme intégrale est discrétisée dans le domaine d'étude [17].

Grâce à un libre choix de la fonction de liaison entre nœuds consécutifs, la procédure conduit à une solution plus précise que celle fournie par les différences finies. [17]

II.5.2. Discrétisation :

Le domaine est d'abord discrétisé à l'aide d'une grille unidimensionnelle (uniforme ou non) orientée positivement vers la droite. Pour écrire le schéma de discrétisation en un point P, on désigne par E et W les nœuds situés immédiatement à sa droite et à sa gauche (Fig.II.2). Le "volume" de contrôle centré en P a donc ici pour dimension Δx . On désigne enfin les points situés aux limites de ce volume par w et e respectivement [17].

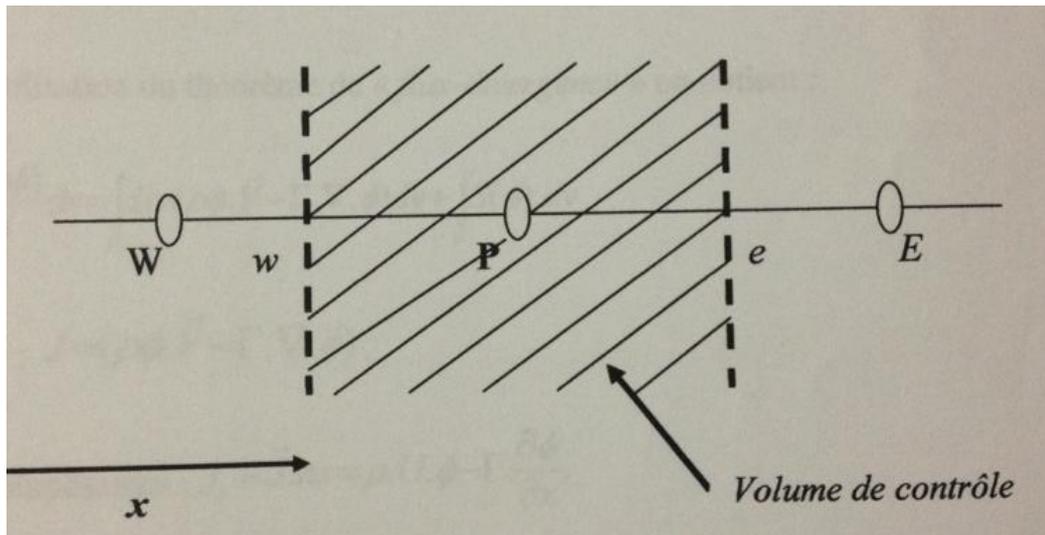


Figure (II.2) : Volume de contrôle pour la méthode des volumes finis [17].

Le principe de la méthode des volumes finis consiste à intégrer l'équation à résoudre sur chacun des volumes de contrôle.

II.5.3. Maillage décalé pour évaluer les vitesses:

Dans la méthode des volumes finis, il est préférable d'évaluer les composantes de vitesse aux interfaces entre deux volumes adjacents (Fig.II.3).

La raison pour laquelle un maillage décalé doit être utilisé pour résoudre (numériquement) les équations de Navier-Stokes est expliquée ci-dessous.

Quand le gradient de pression est discrétisé, on obtient la formule:

$$P_w - P_e = (P_W + P_P) / 2 - (P_P + P_E) / 2 = (P_W - P_E) / 2 \quad (\text{II.11})$$

C'est-à-dire que la différence de pression entre deux volumes qui ne sont pas adjacents est utilisés dans l'équation de mouvement (Navier-Stokes). Le même problème apparaît dans l'équation de continuité ($\rho = \text{constante}$) est:

$$dU/dx = 0 \Rightarrow (U_e - U_w) / \Delta x = 0 \Rightarrow U_e - U_w = 0 \Rightarrow (U_p + U_E) / 2 - (U_w + U_p) / 2 = 0 \Rightarrow (U_E + U_w) / 2 = 0 \quad (II.12)$$

Au point de vue historique, le maillage décalé est un concept introduit par "Harlow" et "Welch" en 1966 pour la méthode (MAC) [17].

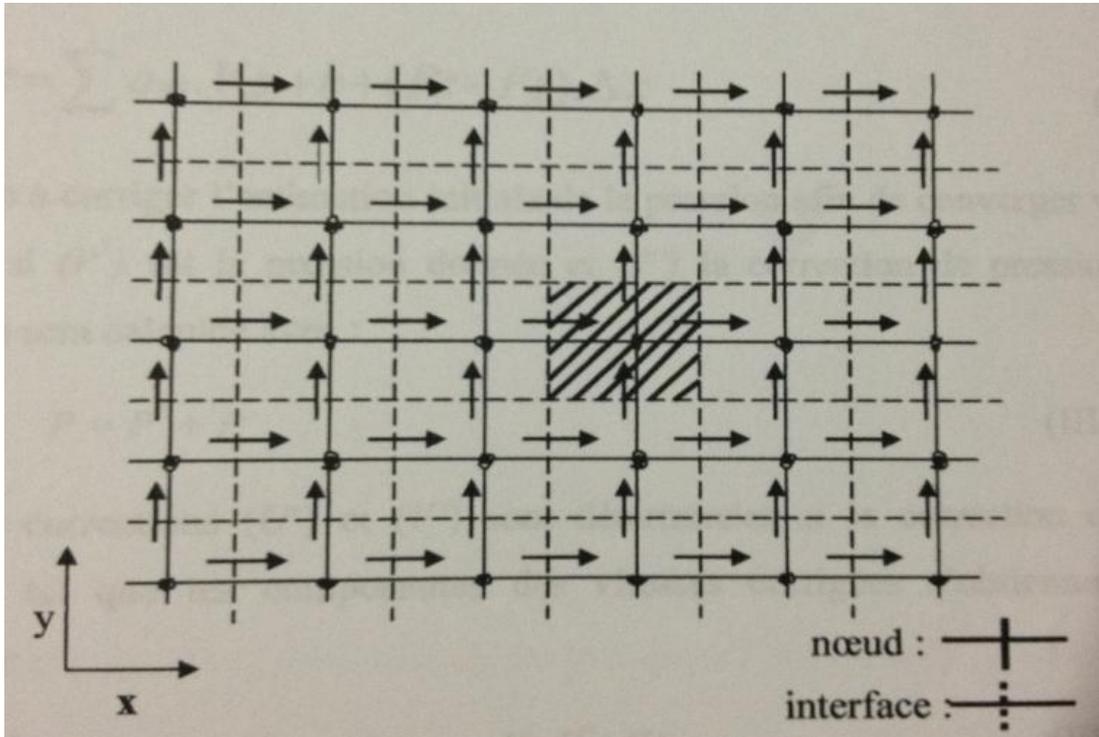


Figure (II.3) : Maillage décalé 2-D (pour évaluer les vitesses) [17].

III.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes et les méthodes du maillage des différentes géométries considérées. Pour créer une géométrie, on doit choisir le maillage qui permet d'optimiser le temps de calcul.

Dans cette partie nous allons mailler les trois (03) formes géométriques des conduites considérées.

Les trois géométries sont :

- Conduite cylindrique
- Conduite conique (convergeant)
- Coude à 90°

Le choix de ces formes géométriques est basé sur un aperçu sur site d'une station-service (à essence), pour cela nous avons essayé de simuler l'écoulement dans quelques parties d'un pistolet de pompe à essence.



Figure (III.1) : pistolets d'une pompe à essence.

III.2. Les différentes géométries :

Dans ce qui suit nous allons présenter les différentes étapes de création d'une géométrie. Les trois géométries sont créés dans un solveur ANSYS R17.2. Les dimensions de ces configurations sont les suivantes :

- **Pour le cylindre :**

$L= 0.2\text{m}$, $D=0.05\text{m}$

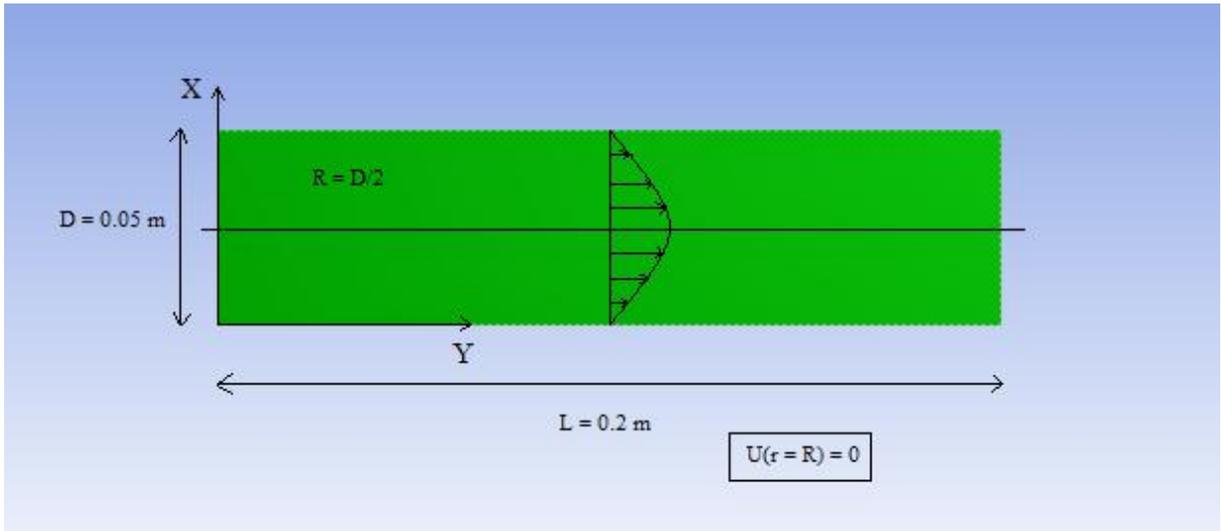


Figure (III.2) : Géométrie cylindrique.

- **Pour le cône :**

$L=0.2\text{m}$, $D1= 0.05\text{m}$, $D2= 0.03\text{m}$.

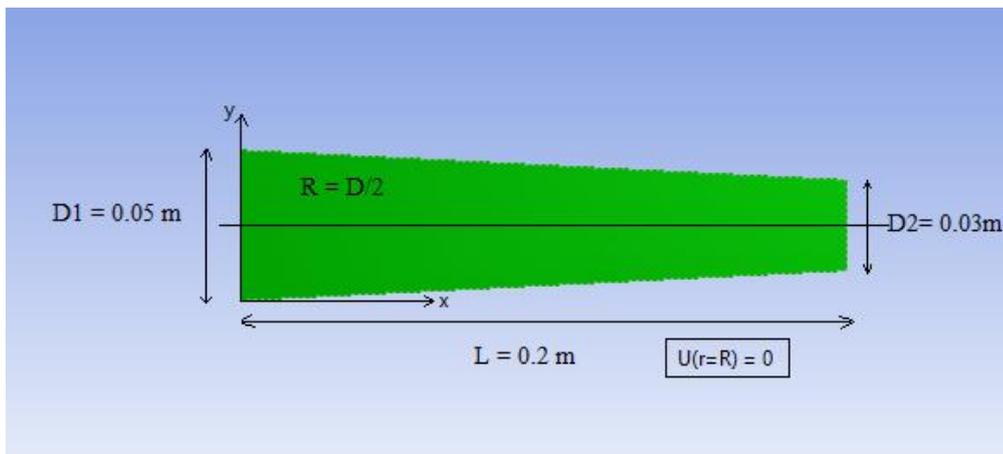


Figure (III.3) : Géométrie conique.

- **Pour le coude à 90° :**

$L1=0.2\text{m}$, $L2=0.2\text{m}$, $D=0.05\text{m}$.

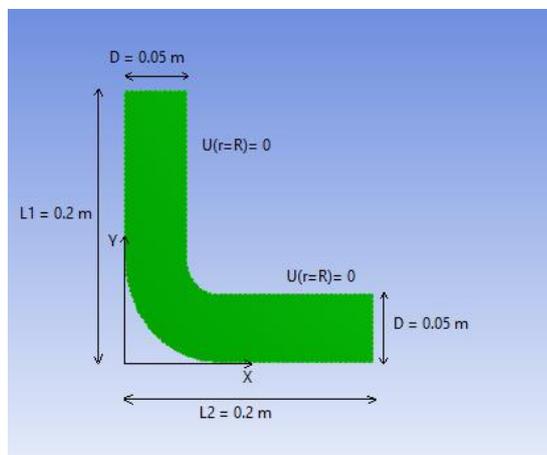


Figure (III.4) : Coude à 90°

III.3. Conditions aux limites :

Les conditions aux limites jouent un rôle important dans la résolution du problème de l'écoulement du fluide.

Nous avons fixé les conditions aux limites suivantes :

- Entrée (velocity-inlet) : Nous avons appliqué trois vitesses d'entrée : $V1 = 0.1$ m/s (régime laminaire), $V2 = 0.04$ m/s et $V3 = 1$ m/s (régimes turbulents), pour ces deux dernières vitesses nous avons appliqué le modèle de turbulence (K-epsilon), le choix du modèle d'écoulement est basé sur le calcul du nombre de Reynolds (Re).
- En sortie (pressure-outlet) : (1 atmosphère = 100000 Pa)
- Mur : Wall
- Le fluide : gasoil-liquid

Ces conditions seront déclarées une fois qu'on y en étape de résolution avec le solveur basé sur le logiciel 'Fluent'.

III.4. Généralités sur l'Ansys-Workbenche :

Les logiciels Ansys sont des logiciels de simulation numérique mettant souvent en œuvre la méthode des volumes finis.

Sur Ansys, deux solutions sont possibles pour faire des calculs de structures sur des composites :

- Le module ACP (ANSYS Composite PrepPost) de l'environnement logiciel ANSYS Workbench: réservé aux cas de géométrie complexe en composites. Dans cet environnement, l'utilisateur modélise sa pièce directement depuis une interface en entrant des paramètres nécessaires à l'étude par éléments finis. La plate-forme convertit ensuite les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS puis lance la résolution.
- Le langage de script APDL (ANSYS Parametric Design Language) de l'environnement logiciel ANSYS Classic.

III.5.Création des géométries et du maillage :

III.5.1. Première configuration :

Pour la création d'une géométrie, on commence par : démarrer WORKBENCH.

Un nouveau projet s'ouvre automatiquement, puis on choisit dans la fenêtre toolbox → Analysis System → Fluid flow (fluent) (Fig. III.5).

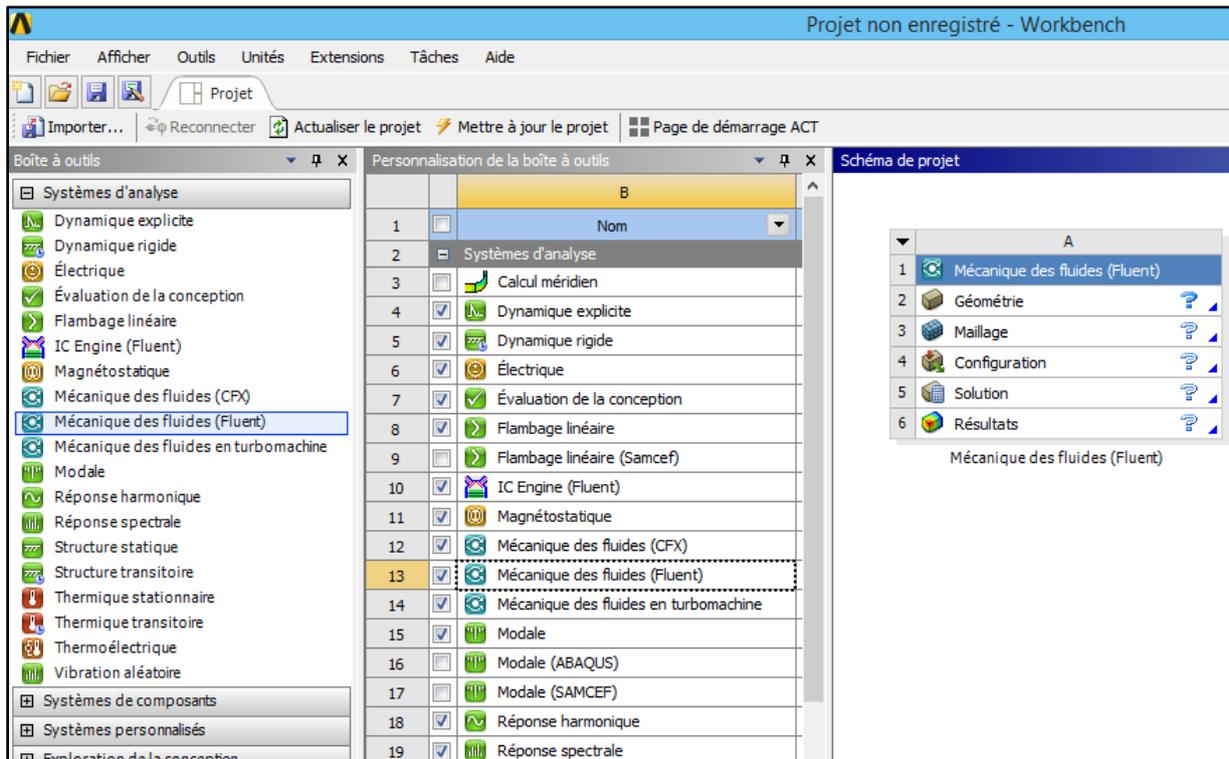


Figure (III.5) : Interface de création d'un projet sous Workbench.

L'étape suivante est de préciser le type de géométrie que l'on veut créer. En cliquant sur Geometry dans la boîte que nous venons de créer.

Nous choisissons sur colonne de droite le paramètre : Advanced Geometry function → Analysis → type 2D.

Propriétés de Schéma A2: Géométrie		
	A	B
1	Propriété	Valeur
2	[-] Général	
3	Identifiant du composant	Geometry
4	Nom du répertoire	FFF
5	[-] Notes	
6	Notes	
7	[-] Licences utilisées	
8	Licences utilisées lors de la dernière mise à jour	
9	[-] Options de géométrie de base	
10	Corps volumiques	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Corps surfaciques	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Corps filaires	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Paramètres	Indépendant
14	Clé paramètre	
15	Attributs	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Clé attribut	
17	Sélections nommées	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Clé de sélection nommée	
19	Propriétés des matériaux	<input checked="" type="checkbox"/>
20	[-] Options de géométrie avancées	
21	Type d'analyse	2D
22	Utiliser l'associativité	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Importer des systèmes de coordonnées	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure (III.6) : Présentation d'une interface de création de la géométrie.

Après l'enregistrement du fichier, nous traçons le modèle DISIGN MODELER, puis on trace la géométrie en cliquant deux fois sur Geometry dans la boîte associée au projet.

III.5.1.1. Création de la géométrie :

Tout d'abord, le logiciel vous demande de choisir l'unité caractéristique du système, dans notre cas il s'agit du millimètre.

Pour créer une géométrie, il faut passer par les étapes suivantes :

1. Commencer par tracer grossièrement (juste les formes)
2. Préciser les cotes
3. Préciser les zones et leur nature
4. Tracer l'esquisse

Pour cela il faut choisir le plan de travail, ici ce sera le plant XY, pour le sélectionner, cliquer sur XYPLANE dans Tree Outline (au milieu de la colonne de gauche).

Le repère apparaît, pour se mettre perpendiculaire à un plan, il faut cliquer sur  le plan en question dans la barre d'outils.

Nous allons maintenant attaquer le cœur du problème, la géométrie elle-même. Pour passer en mode dessin, en cliquant sur Sketching dans Tree Outline (avec le plan sélectionné). Un

menu proposant différentes forme géométriques apparaît .Nous commençons avec les lignes .pour tracer la géométrie (Fig.III.7et III.8).

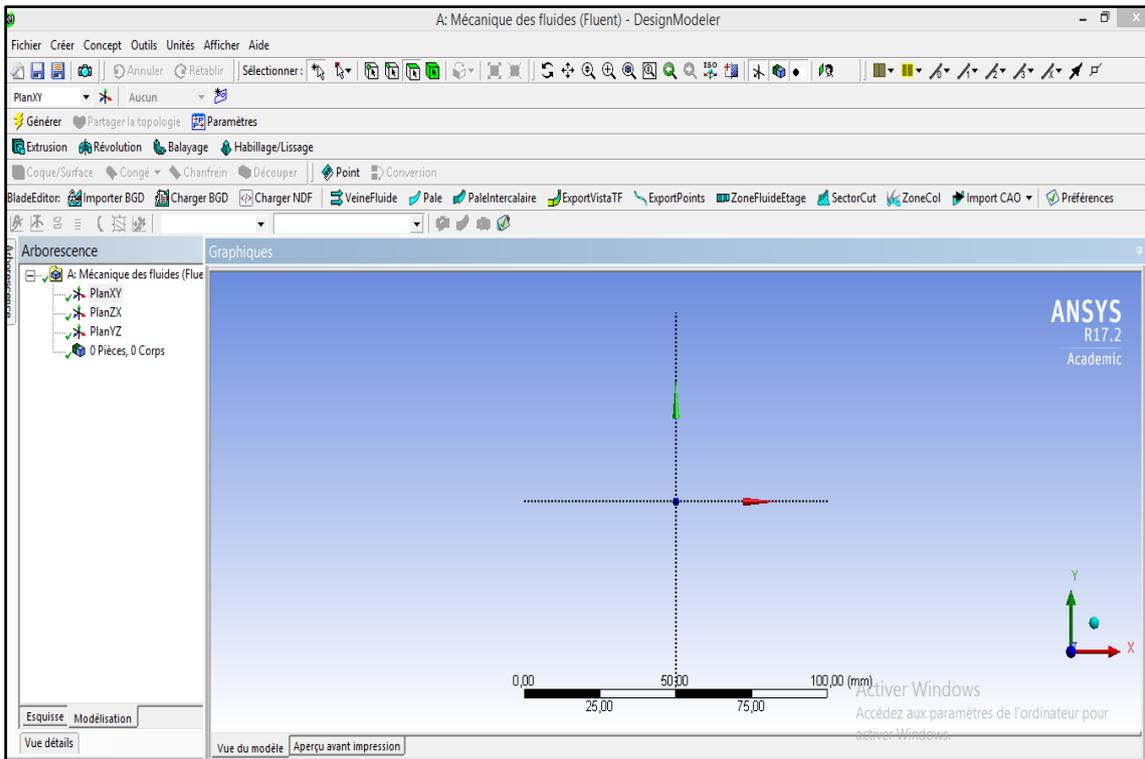


Figure (III.7) : Création du repère.

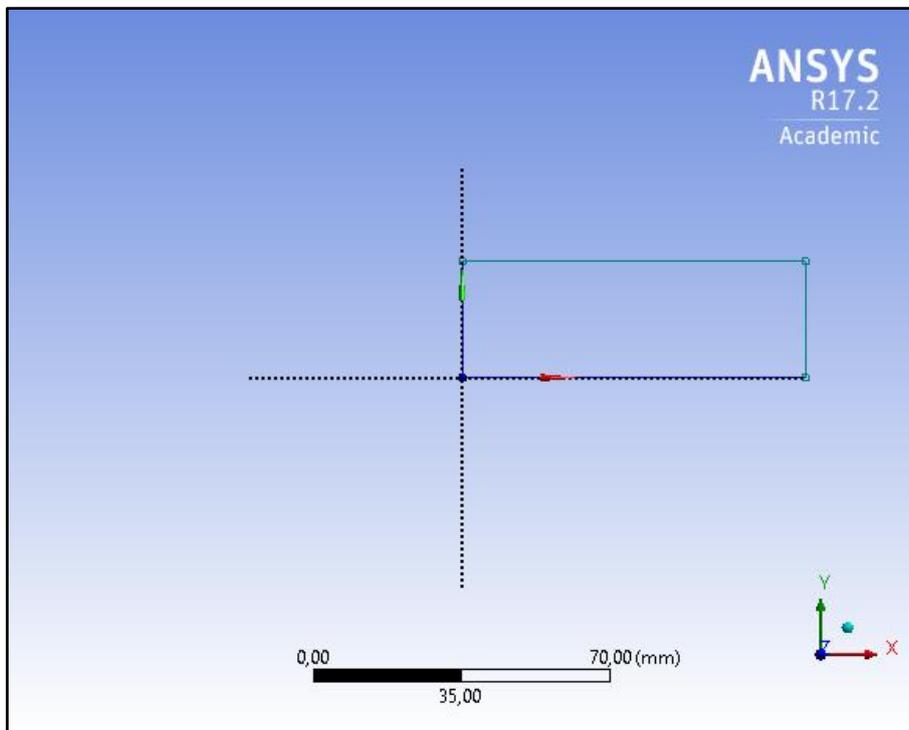


Figure (III.8) : Création de l'esquisse.

III.5.1.1.1. Insertion des cotes :

Une fois que nous aurons précisé les cotes, La configuration géométrique est prête à être utilisée. Ceci est réalisé en appliquant les étapes suivantes : ouvrons le menu dimensions (deux lignes en dessous de Draw), le régleur général est assez pratique pour la ligne.

Enfin, pour préciser la distance d'un point à un axe, on utilise (Horizontal ou vertical) selon le cas. En ce qui concerne le cas étudié nous avons utilisé cette dernière méthode pour les cotes V1, H2.

Il est aussi possible de préciser au logiciel que deux éléments ont les mêmes propriétés, pour notre cas les cotes choisies sont présentées dans la figure ci-dessous :

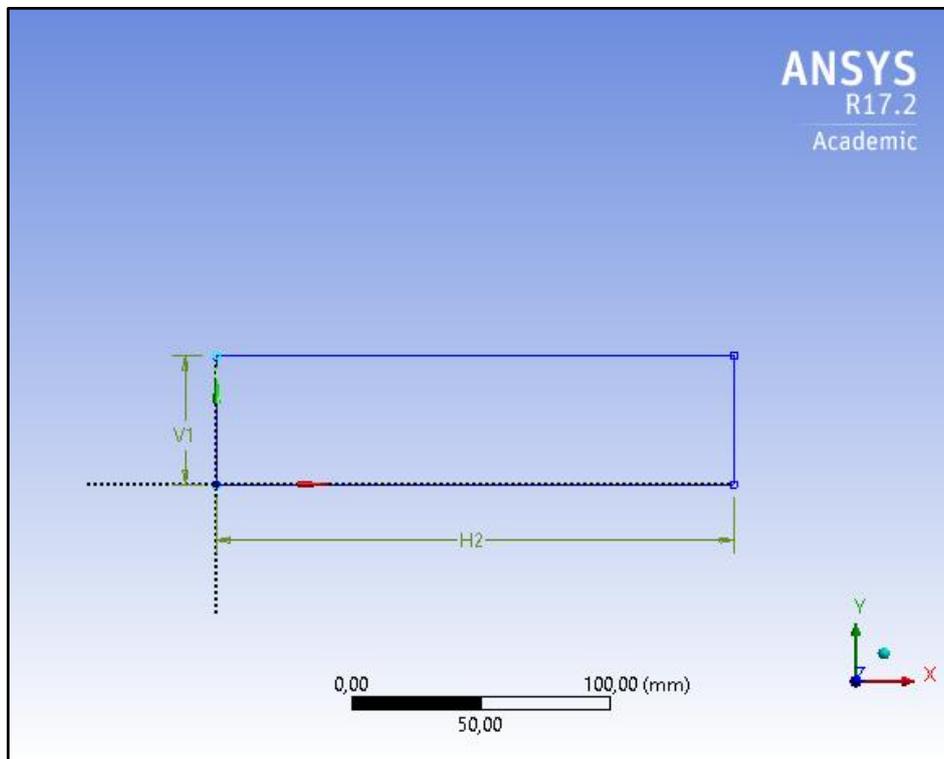


Figure (III.9) : esquisse et cotes de la première configuration.

III.5.1.1.2. Créations de la surface à mailler :

Dans notre cas, la surface à mailler est celle délimité par l'esquisse. La définition de la surface se fait dans le menu Concept (tout en haut au milieu).

On peut utiliser Surface From Sketch et sélectionner notre esquisse (en appuyant sur Apply dans la fenêtre de sélection) et puis en appuyant sur Generate.

Nous avons utilisé une technique plus subtile qui est la subdivision de notre esquisse en plusieurs zones.

Tout d'abord, nous spécifions la totalité de la région à mailler avec les fonctions qui viennent juste d'être décrites : Concept → Surface → From → Sketch → Sélectionner Sketch → Generate (Fig.III.10).

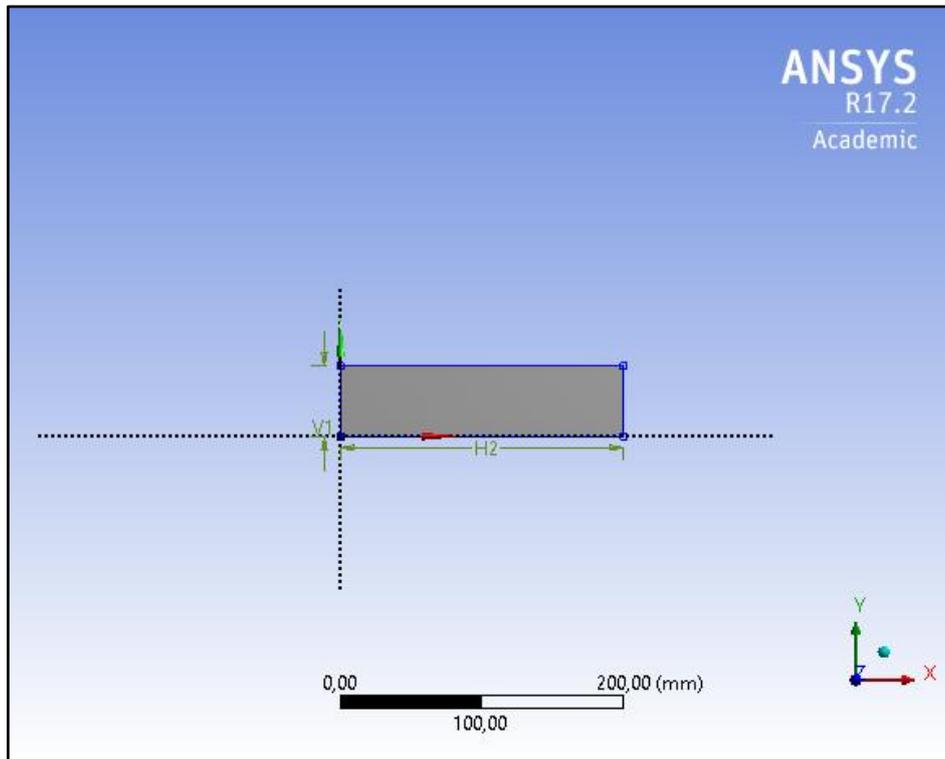


Figure (III.10) : Création de la surface à mailler pour la 1ère configuration (cylindre).

III.5.1.2.1. Le maillage :

Le maillage est la partition de l'espace ou du domaine en un nombre de cellules appelées éléments. Pour créer le maillage, il faut lancer Mesher en double cliquant sur Maillage dans la boîte Workbench.

Une fois lancé, la première chose qu'il vous demande est la méthode de maillage. Ici, vu que nous allons donner nous-même des spécifications, la méthode Automatique ira très bien.

Nous commençons le maillage par sélectionner → clic droit → générer un maillage.

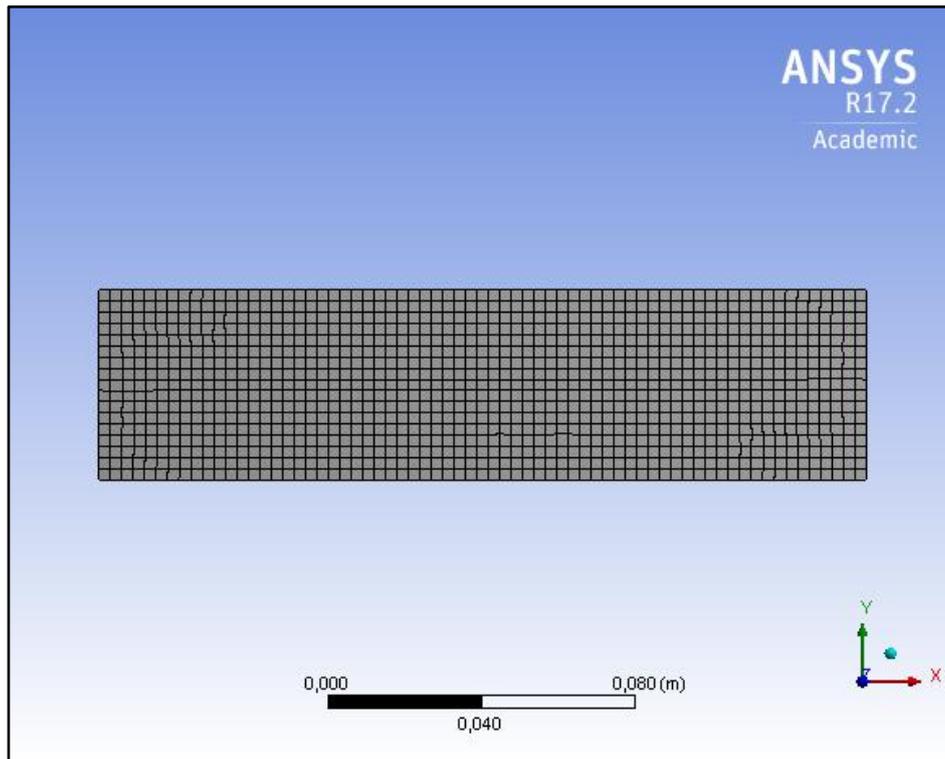


Figure (III.11) : Création du maillage du cylindre.

III.5.1.2.2. Nomination des différentes parties :

Nous allons commencer par nommer les régions qui auront un intérêt particulier :

- Entrée de fluide
- Sortie de fluide
- Mur
- Conduite cylindrique

La nomination de ces parties permettra d'affecter ces paramètres particuliers sous fluent.

Pour nommer une partie, il faut la sélectionner → clic droit → créer la sélection nommée → lui donner un nom. Pour sélectionner une partie de la géométrie, il faut avoir l'outil en conséquence :  pour les arêtes  pour les surfaces, en appuyant sur Ctrl (Fig.III.12).

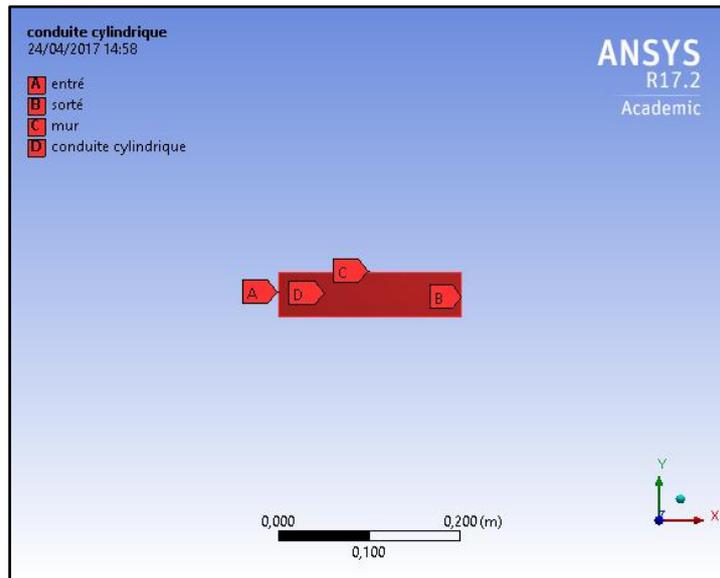


Figure (III.12) : Nomination des différentes parties du cylindre.

III.5.2. Deuxième configuration :

Les mêmes étapes suivies pour le maillage de la première configuration seront répétés pour le maillage des autres configurations, dans ce qui suit nous allons brièvement présenter le maillage de la deuxième configuration.

III.5.2.1. Création de la géométrie :

Dans ce cas, nous allons réaliser une géométrie conique (convergeant), et le même principe de réalisation de la première géométrie (Fig. III.13).

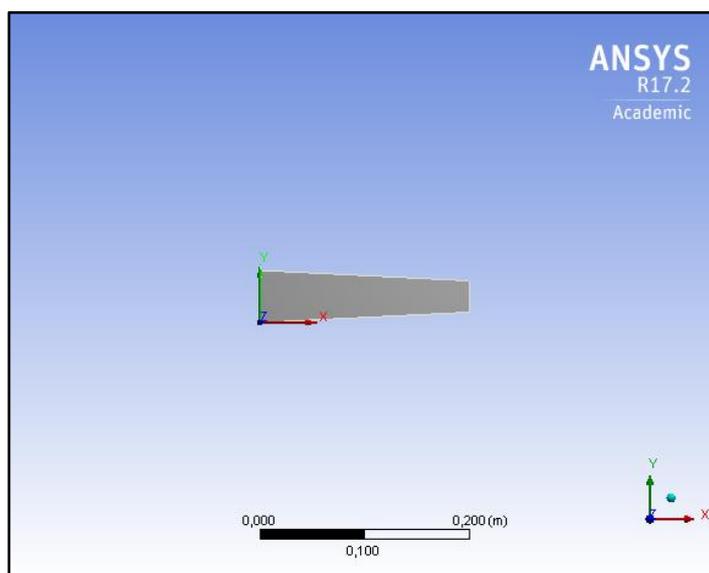


Figure (III.13) : Création du maillage de la surface du convergeant.

III.5.2.2. Le maillage :

La figure ci-dessous présente le maillage de la deuxième géométrie, il s'agit d'une configuration conique ou convergent :

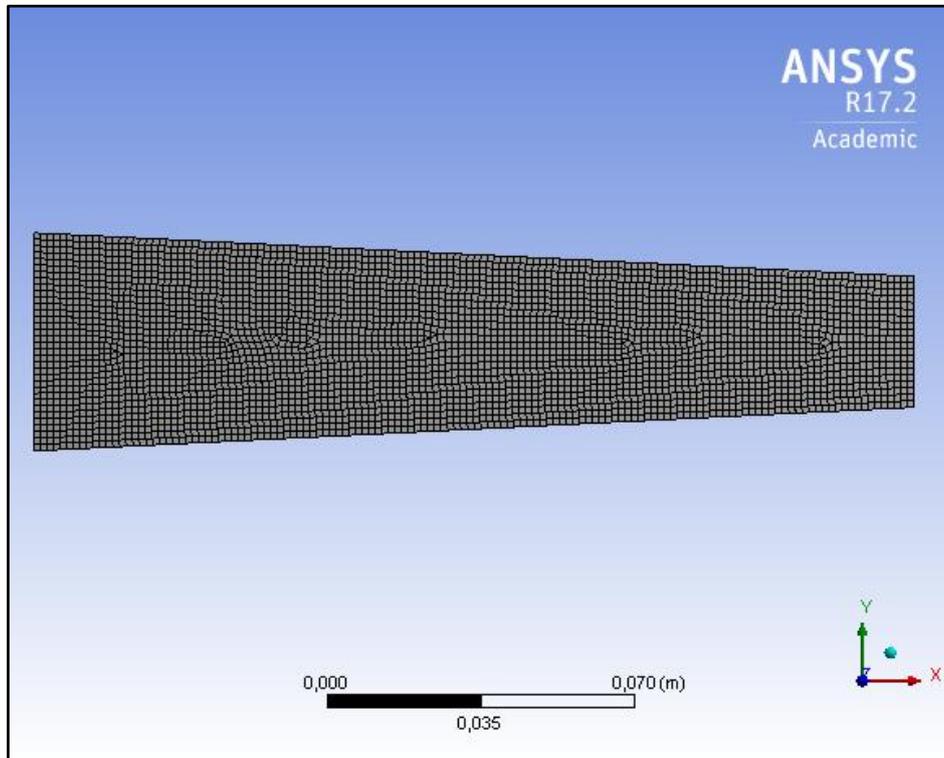


Figure (III.14) : Création du maillage de la deuxième configuration.

III.5.2.3. Nomination des différentes parties :

Nous allons nommer les régions qui auront un intérêt particulier :

- Entrée de fluide
- Sortie de fluide
- Mur
- Conduite conique

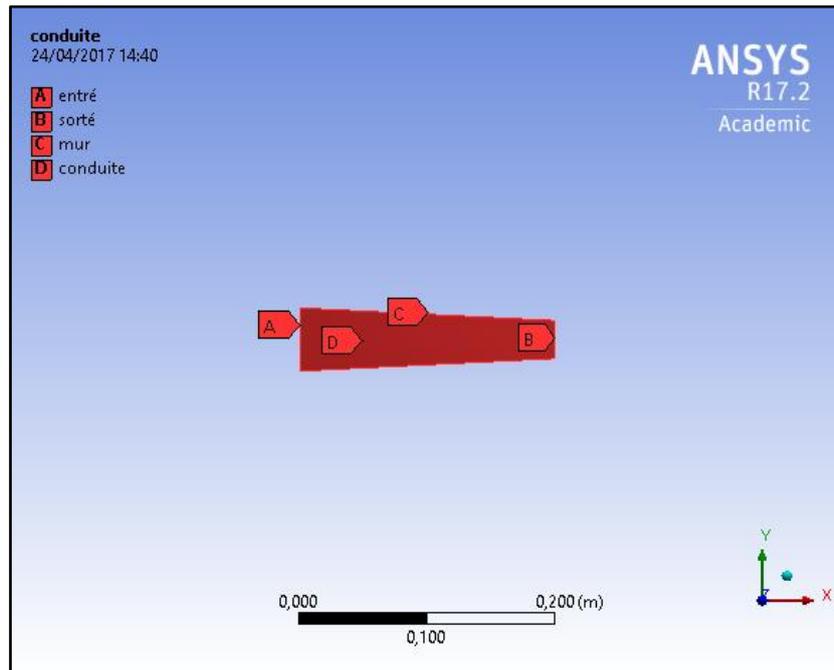


Figure (III.15) : Nomination des différentes parties de la deuxième configuration.

III.5.3. Troisième configuration :

III.5.3.1. Création de la géométrie :

Cette géométrie est un coude (90°), la figure ci-dessous présente la géométrie créée à l'aide du logiciel Ansys :

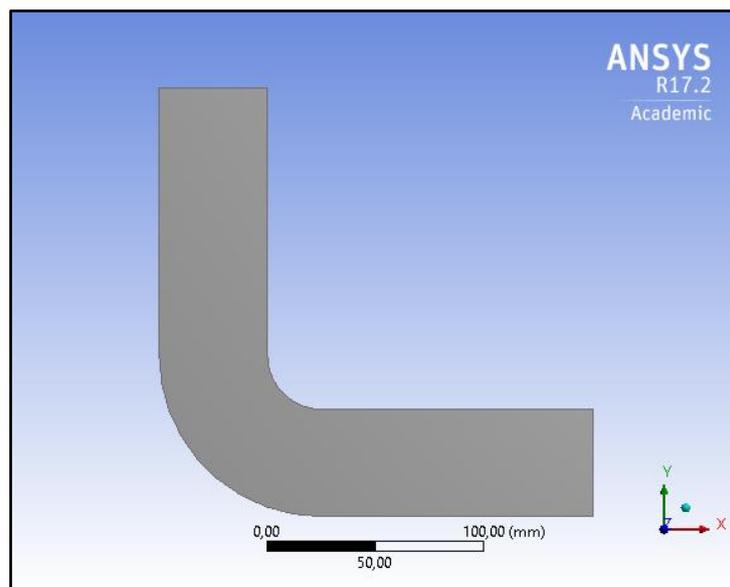


Figure (III.16) : Création de la surface à mailler de la troisième configuration.

III.5.3.2. Le maillage

Le même principe de réalisation des deux configurations précédentes est suivi pour cette configuration (Fig.III.17) :

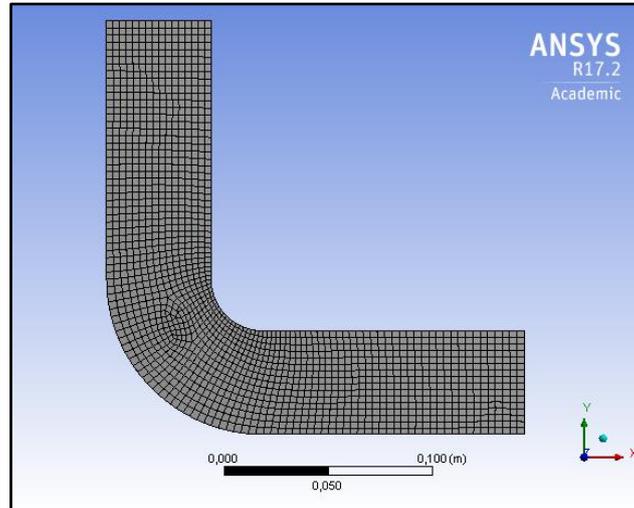


Figure (III.17) : Création du maillage du coude.

III.5.3.3. Nomination des différentes parties :

Nous allons nommer les régions qui auront un intérêt particulier :

- Entrée de fluide
- Sortie de fluide
- Mur
- Conduite cylindrique

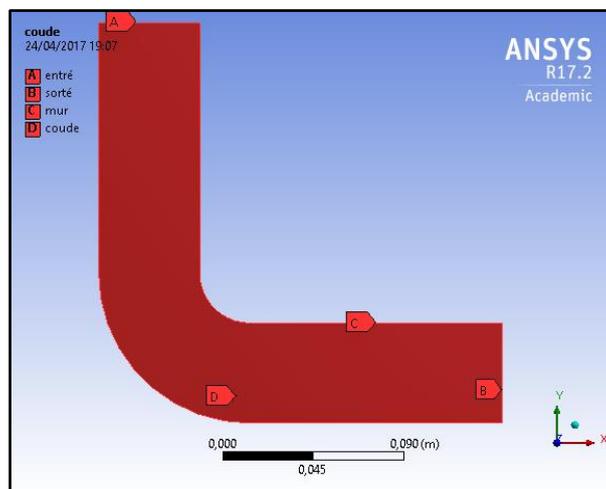


Figure (III.18) : Nomination des différentes parties du coude.

IV.1.Introduction :

Les équations qui gouvernent l'écoulement dépendent de la nature de ce dernier (laminaire, turbulent, newtonien, non-newtonien...), du type du fluide utilisé (parfait, visqueux, compressible...etc.), ainsi que des hypothèses simplificatrices choisies.

Notre étude porte sur l'analyse de l'écoulement bidimensionnelle, stationnaire (laminaire et turbulent) dans des conduits allongés de différentes formes.

Les hypothèses simplificatrices prises en compte sont les suivantes :

- conduite bidimensionnelle de diamètre D.
- échauffement, dû à la viscosité, négligé.
- écoulement bidimensionnelle et propriétés du fluide constantes.
- variation, dans les couches limites, de la masse volumique est négligée.
- comportement de l'écoulement à l'intérieur de la conduite modélisé grâce au modèle mathématique considérant un fluide supposé:

- monophasique,
- configuration ne contient ni source ni puits d'énergie ou de matière et n'est le siège d'aucune réaction chimique,
- mouvement supposé bidimensionnel et stationnaire.

La méthode avec laquelle sera décrit l'écoulement du fluide est telle de décrire l'écoulement en se fixant sur un point dans l'espace et observer les variations des quantités liées aux particules du fluide passant par ce point...

Dans ce chapitre nous allons présenter :

- Le critère de convergence.
- Les résultats obtenus par simulation numérique des écoulements(laminaire et turbulent)de gasoil dans des conduites de déférentes géométries. La discussion sera basée principalement sur les distributions de pression et de vitesse sous forme des contours. Nous avons illustré l'évolution de l'écoulement du fluide par des contours tracés par le solveur ANSYS basé sur le FLUENT, On a suivi ces contours avec des interprétations explicatives.

IV.2.La convergence :

Afin de vérifier la convergence de notre calcul et l'évolution de l'erreur au cours du calcul, nous présentons l'évolution des résidus en fonction du nombre d'itérations(Figs.IV.1-9).

IV.2.1.Conduite cylindrique :

On remarque que la convergence dans la conduite cylindrique est atteinte après 310 itérations pour une vitesse du gazoil $V1= 0.1\text{m/s}$,210 itérations pour $V2= 0.4 \text{ m/s}$ et 210 itérations pour $V3 =1\text{m/s}$ (Figures IV.1, 2 et 3).

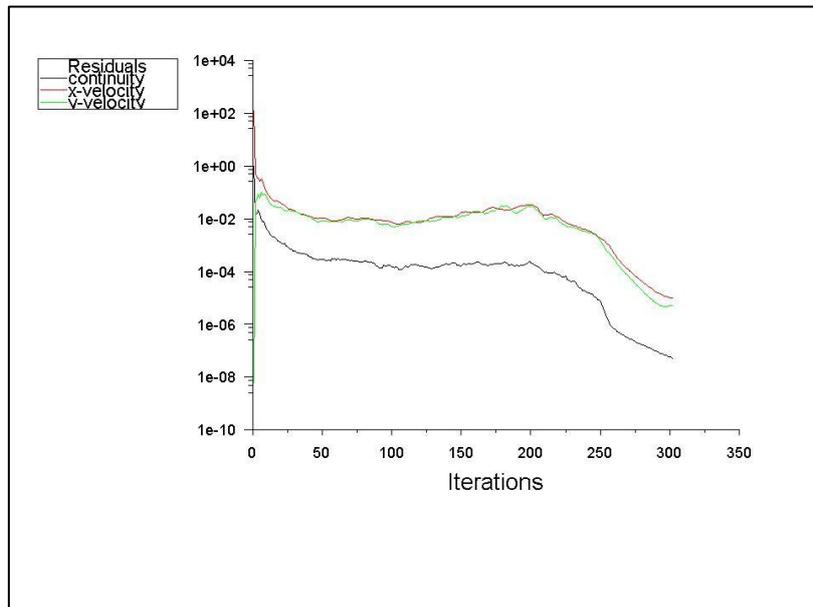


Figure (IV.1) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V1=0.1\text{m/s}$).

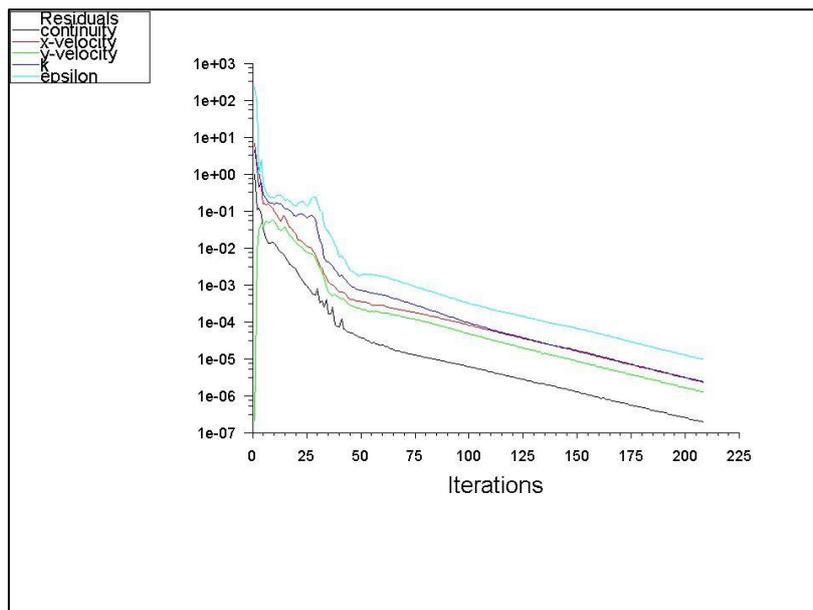


Figure (IV.2) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V2=0.4\text{m/s}$).

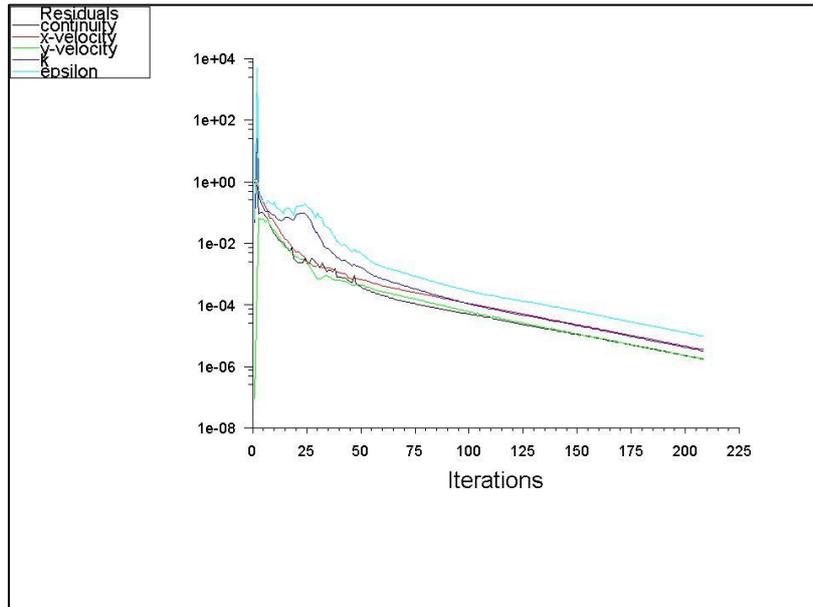


Figure (IV.3) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_3=1\text{m/s}$).

IV.2.2. Conduite conique :

On remarque que la convergence dans la conduite conique est atteinte après 875 itérations pour une vitesse du gazoil $V_1=0.1\text{m/s}$, 205 itérations pour $V_2=0.4\text{ m/s}$ et 215 itérations pour $V_3 = 1\text{m/s}$ (figures IV.4, 5 et 6).

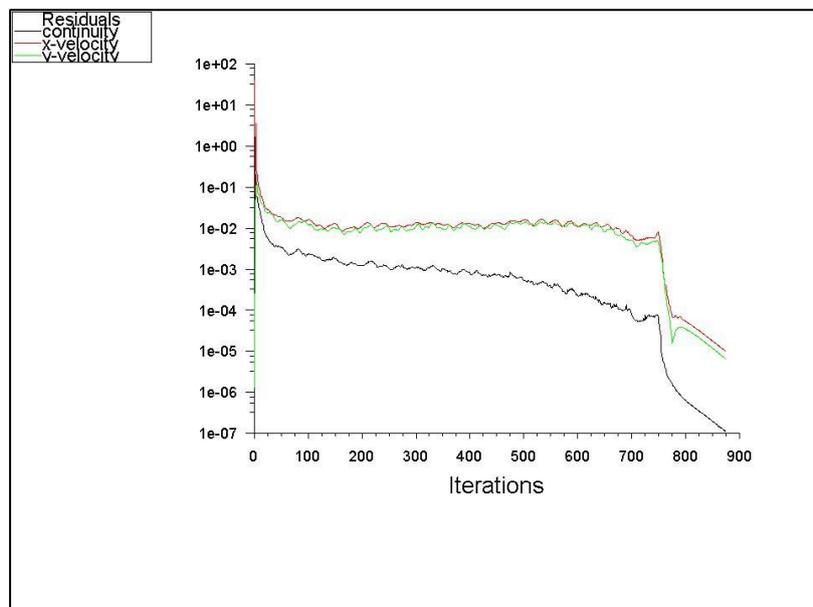


Figure (IV.4) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V_1=0.1\text{m/s}$).

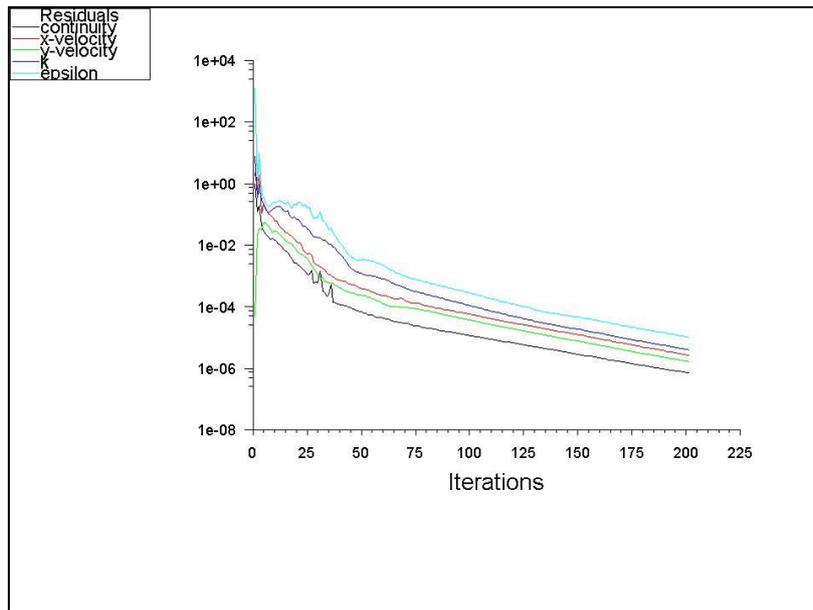


Figure (IV.5) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations(V2=0.4m/s).

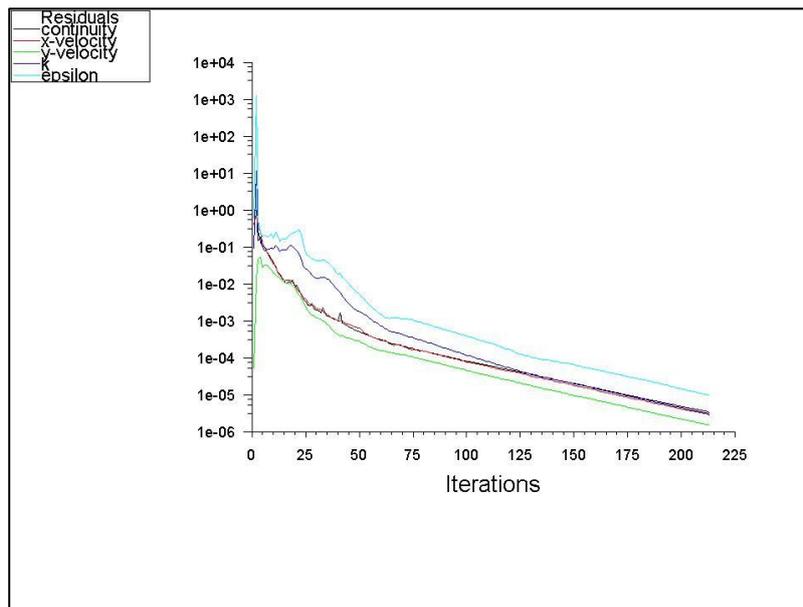


Figure (IV.6) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations (V3=1m/s).

IV.2.3. Conduite coudée (90°):

La convergence pour le coude (à 90°) est atteinte après 1200 itérations pour une vitesse du gazoil $V1=0.1\text{m/s}$, 223 itérations pour $V2=0.4\text{ m/s}$ et 155 itérations pour $V3=1\text{m/s}$ (Figs.IV.7, 8et 9).

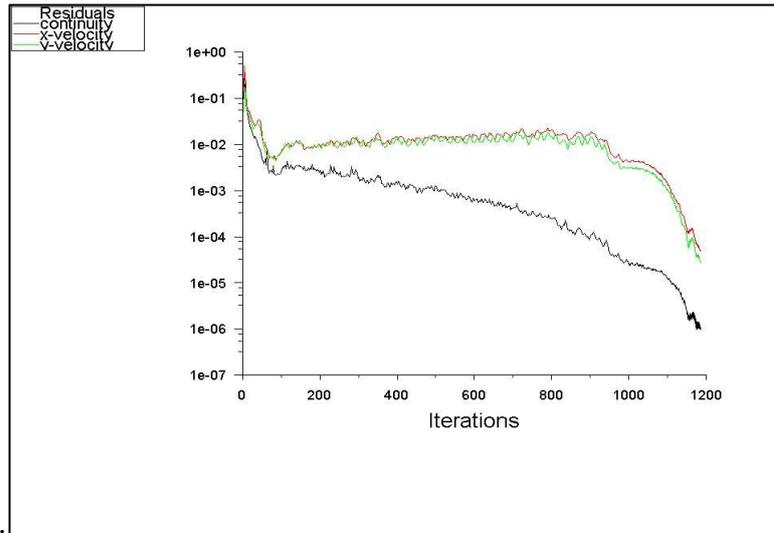


Figure (IV.7) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V1=0.1\text{m/s}$).

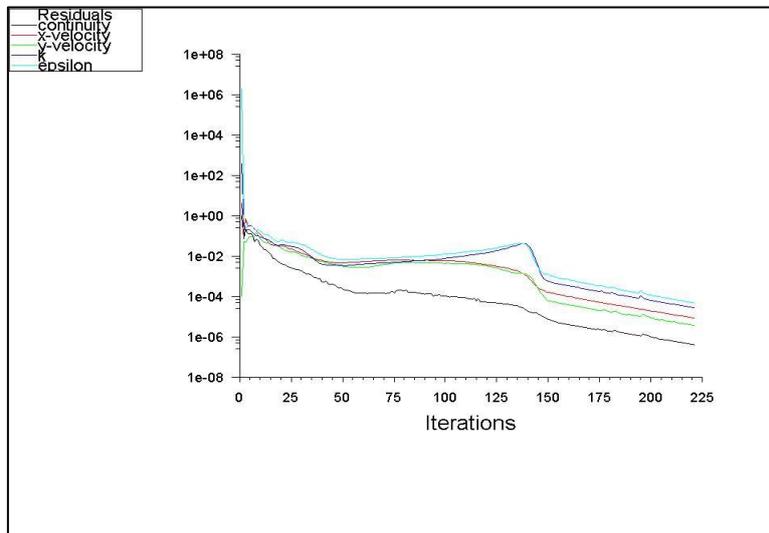


Figure (IV.8) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations ($V2=0.4\text{m/s}$).

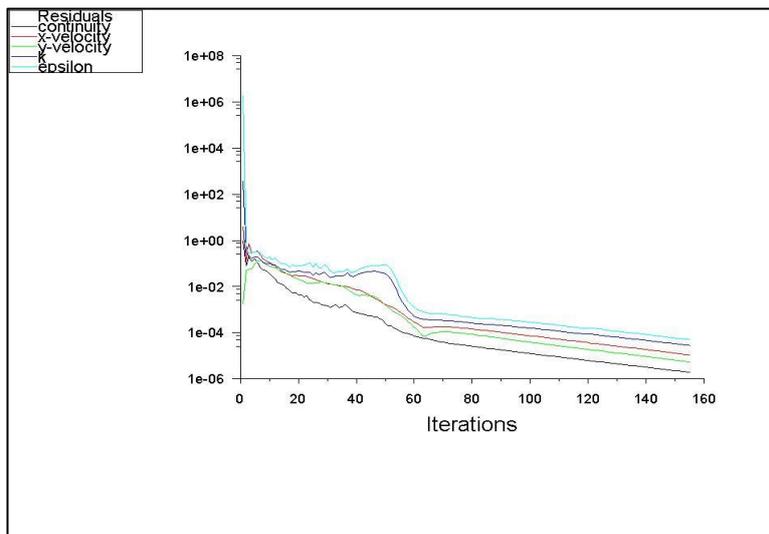


Figure (IV.9) : Valeurs de l'erreur en fonction du nombre d'itérations. ($V3=1\text{m/s}$).

IV.3.Résultats et discussions :

Pour avoir une idée qualitative sur le comportement de l'écoulement dans les configurations étudiées en fonction des vitesses et des géométries des conduits ci-cités, on présente sur les figures qui suivent les tracés des iso-vitesses et des pressions dynamiques, relatifs aux différentes géométries. Nous allons étudier dans ce chapitre l'écoulement visqueux dans les conduits considérés et présenter les méthodes de calcul pour déterminer la chute de pression. Le but est de s'approcher à une vitesse critique dont la pression dynamique dans ces conduits sera minimale.

IV.3.1. Conduite cylindrique :

Les contours ci-dessous présentent la distribution des vitesses au sein de la conduite pour les trois vitesses d'entrée du fluide ; $V_1=0.1$ m/s (régime laminaire), $V_2=0.4$ m/s et $V_3=1$ m/s (régime turbulent (K-epsilon)) (Figures IV.10, 11 et 12). On remarque dans ces trois figures que la vitesse du fluide en contact avec la paroi est nulle, l'apparition de trois couches limites très minces près de la paroi et un écoulement établi au milieu de la conduite pour la troisième vitesse $V_3=1$ m/s. Ces couches limites sont plus épaisses pour la deuxième vitesse et leurs épaisseurs augmentent de plus en plus en se rapprochant de la sortie du conduit.

Un profil de vitesse développé (developped velocity profil) n'est apparu le long du conduit que pour la première vitesse ($V_1=0.1$ m/s), dans ce cas les couches limites sont plus épaisses en comparant avec les deux autres vitesses.

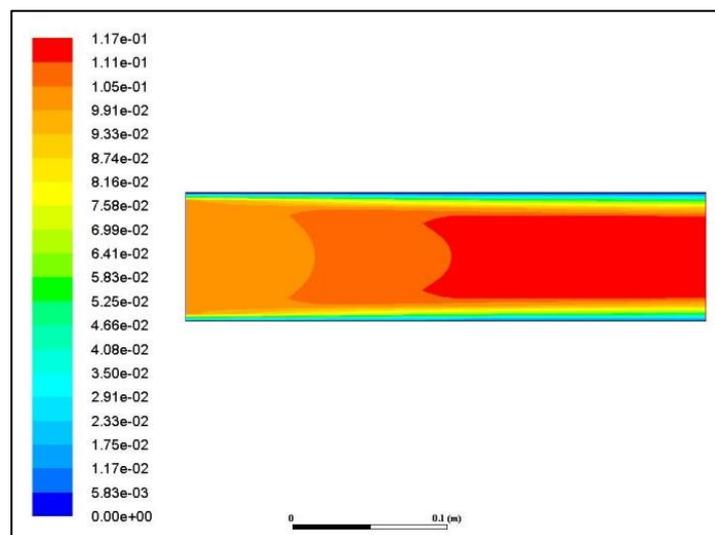
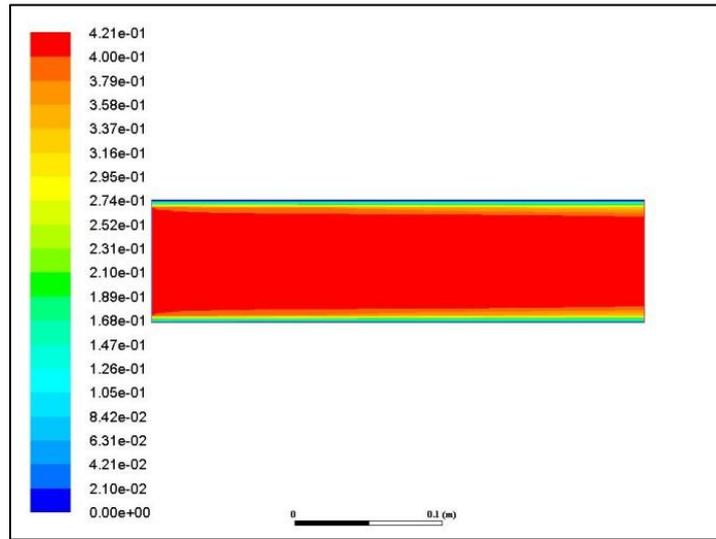
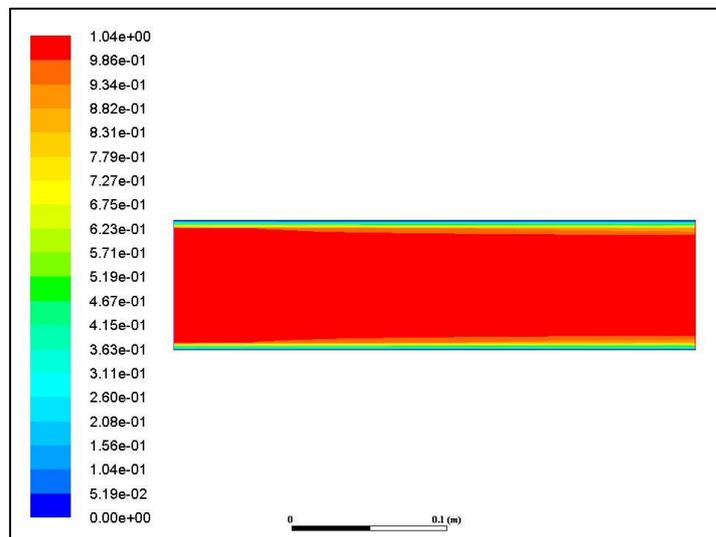
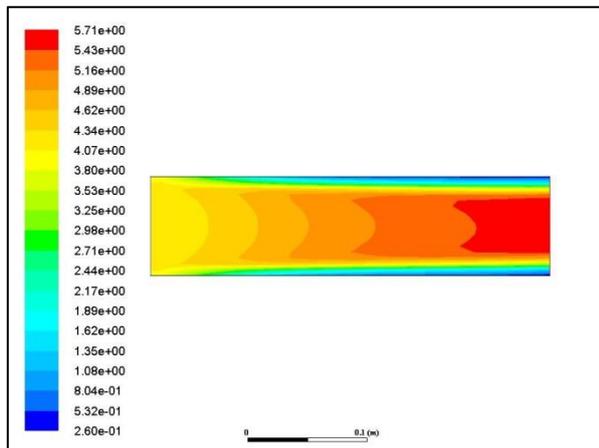
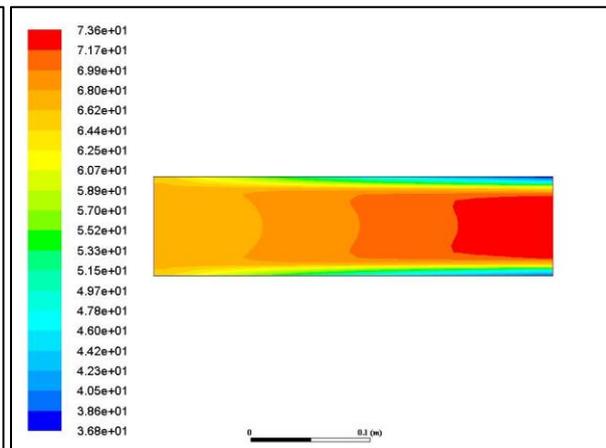
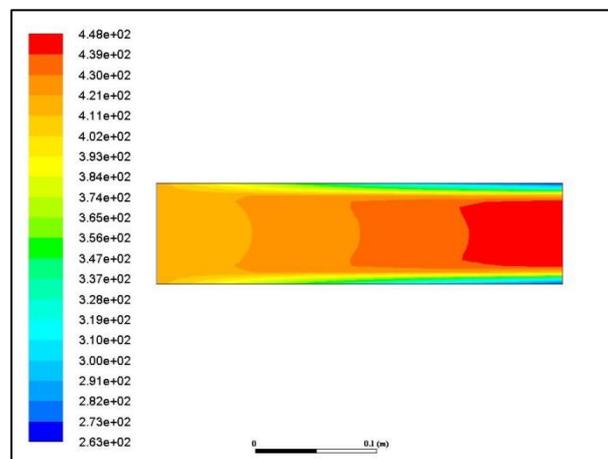


Figure (IV.10) : Contour de la vitesse ($V_1 = 0.1$ m/s).

Figure (IV.11) : Contour de la vitesse ($V_2 = 0.4$ m/s).Figure (IV.12) : Contour de la vitesse ($V_3 = 1$ m/s).

La pression dynamique sont présentés sou formes de contours pour les trois vitesses d'entrée (Figures IV. 13, 14 et 15). On peut remarquer que la pression dynamique est plus faible près de l'entrée augmente progressivement jusqu'à la sortie, elle est faible aussi auprès les parois du conduit. Un profil semblable au profil de la vitesse ($V=0,1$ m/s) est remarqué pour les trois vitesses.

Figure (IV.13) : Contour de pression ($V_1 = 0.1$ m/s).Figure (IV.14) : Contour de pression ($V_2 = 0.4$ m/s).Figure (IV.15) : Contour de pression ($V_3 = 1$ m/s).

IV.3.2. Conduite conique (convergeant) :

Les figures (IV.16, 17 et 18) présentent la distribution des vitesses l'intérieur de la conduite convergente pour les trois vitesses d'entrée du fluide ; $V_1=0.1$ m/s, $V_2=0.4$ m/s et $V_3=1$ m/s. On remarque dans ces trois figures que la vitesse du fluide en contact avec la paroi est nulle, l'apparition des couches limites pour les trois cas, cette couche limite est plus mince pour la vitesse la plus élevée $V_3=1$ m/s et elle est plus épaisse pour la vitesse la plus faible $V_1=0.1$ m/s. de la paroi et un écoulement établi au milieu de la conduite pour la troisième vitesse $V_3=1$ m/s.

Un profil de vitesse développé (developped velocity profil) est apparu le long du conduit pour les trois vitesses.

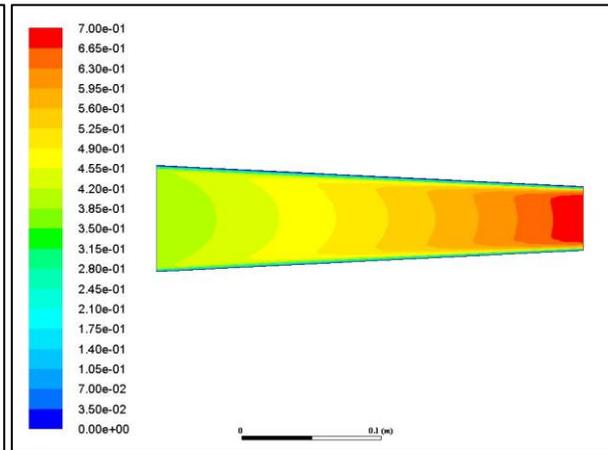
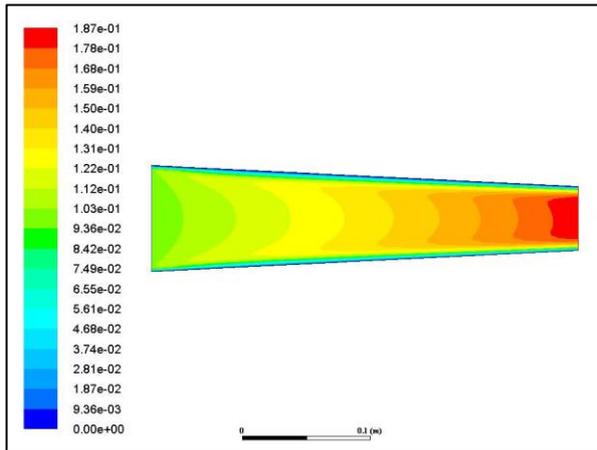


Figure (IV.16) : Contour de la vitesse ($V1 = 0.1 \text{ m/s}$). Figure (IV.17) : Contour de la vitesse ($V2 = 0.4 \text{ m/s}$).

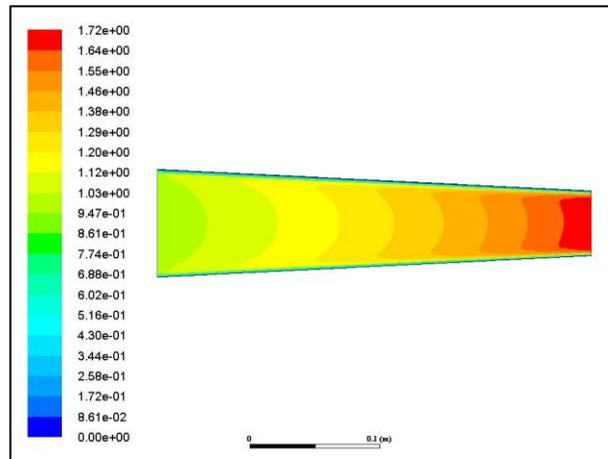


Figure (IV.18) : Contour de la vitesse ($V3 = 1 \text{ m/s}$).

La distribution de la pression dynamique est présentée sous formes de contours pour les trois vitesses d'entrée. On remarque que la pression augmente avec l'augmentation de la vitesse, et qu'elle est plus faible près de l'entrée et augmente progressivement jusqu'à la sortie, elle est faible aussi auprès des parois du conduit. Un profil parabolique développé au milieu du conduit est remarqué pour les trois vitesses (Figs.IV.19, 20 et 21).

En calculant la différence de pression entre l'entrée et la sortie, on remarque que la différence de pression ΔP est maximal pour la deuxième vitesse $V=0.4\text{m/s}$.

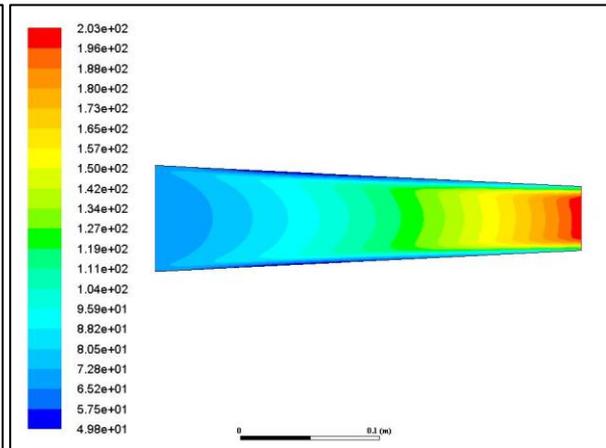
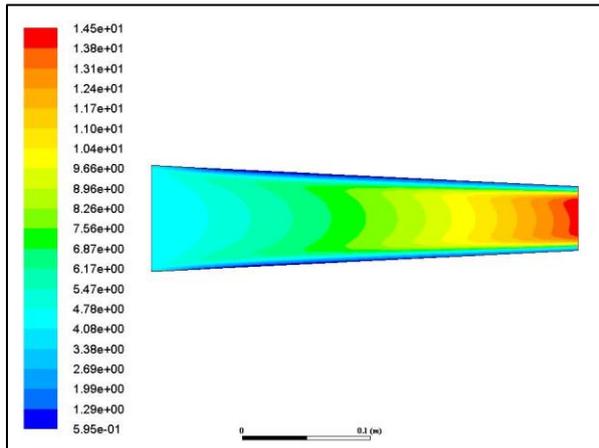


Figure (IV.19) : Contour de pression ($V_1 = 0.1$ m/s). Figure (IV.20) : Contour de pression ($V_2 = 0.4$ m/s).

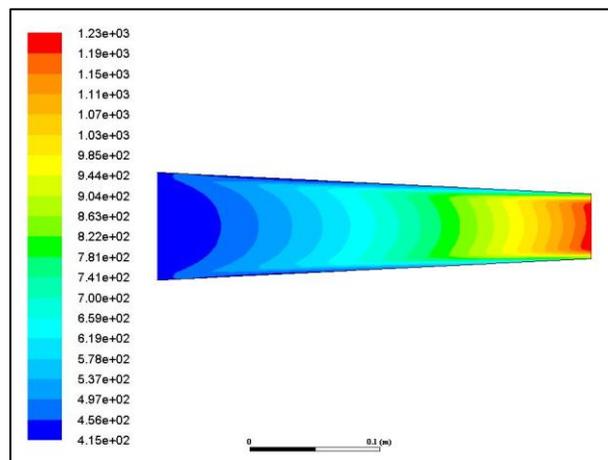


Figure (IV.21) : Contour de pression ($V_3 = 1$ m/s).

IV.3.3. Conduite coudé à 90° :

Les figures (IV.22, 23 et 24) présentent la distribution des vitesses l'intérieur du coude à 90° pour les trois vitesses d'entrée du fluide ; $V_1=0.1$ m/s, $V_2=0.4$ m/s et $V_3=1$ m/s. On remarque dans ces trois figures que la vitesse du fluide est plus supérieure au milieu des conduit et à la sortie du conduit, l'apparition des couches limites pour les trois cas, le nombre de couches limites devient plus important en se rapprochant de la zone de changement de la direction (l'angle) et ils sont plus épaisses dans la partie horizontale (après le changement de la direction). Un tourbillon qui s'est produit auprès de l'angle avec une vitesse supérieure par rapport aux autres régions, ce tourbillon s'allonge de plus en plus en diminuant la vitesse d'entrée et il est localisé juste en dessous de l'angle pour la vitesse de 1m/s.

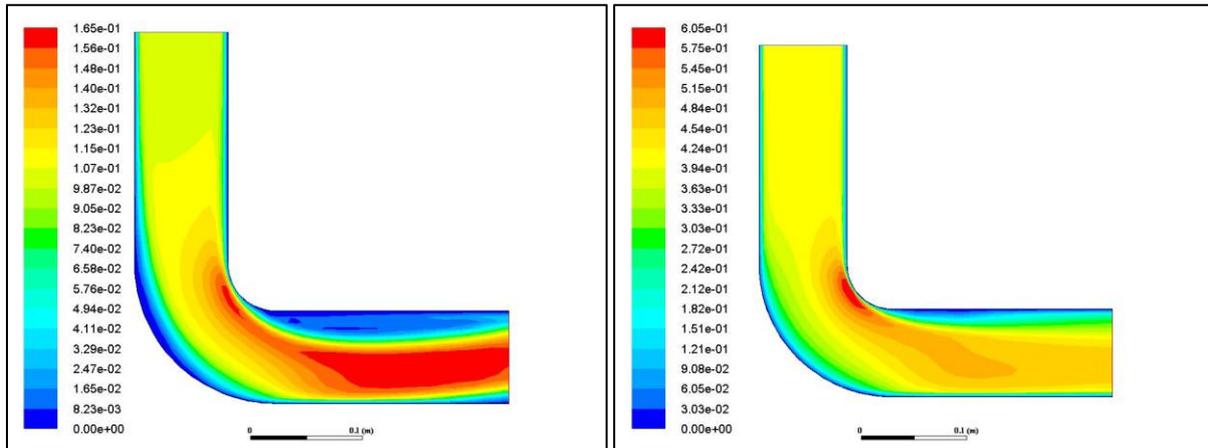


Figure (IV.22) : Contour de la vitesse ($V1 = 0.1$ m/s). Figure (IV.23) : Contour de la vitesse ($V2 = 0.4$ m/s).

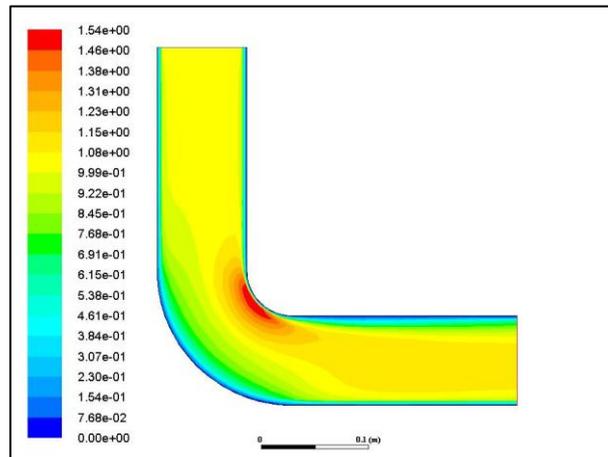


Figure (IV.24) : Contour de la vitesse ($V3 = 1$ m/s).

La distribution de la pression dynamique est présentée sous formes de contours pour les trois vitesses d'entrée. On remarque que la pression augmente avec l'augmentation de la vitesse, et qu'elle est plus faible près de l'entrée et augmente progressivement, en formant une zone de pression très élevée en dessous de l'angle jusqu'à la sortie pour la première vitesse $V1=0.1$ m/s. une zone de forte pression localisée juste en dessous de l'angle 90° pour les deux autres vitesses d'écoulements (Figs.IV.25, 26 et 27).

En calculant la différence de pression entre l'entrée et la sortie, on remarque que la différence de pression ΔP est maximal pour la deuxième vitesse $V2=0.4$ m/s.

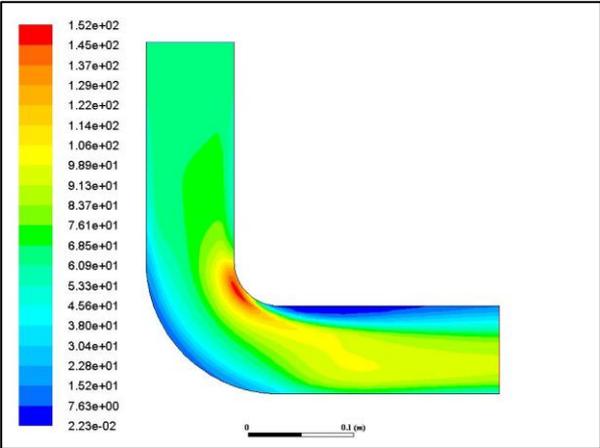
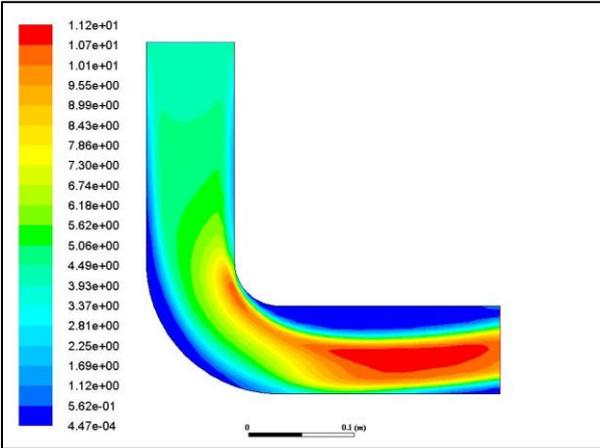


Figure (IV.25) : Contour de pression ($V1 = 0.1$ m/s). Figure (IV.26) : Contour de pression ($V2=0.4$ m/s).

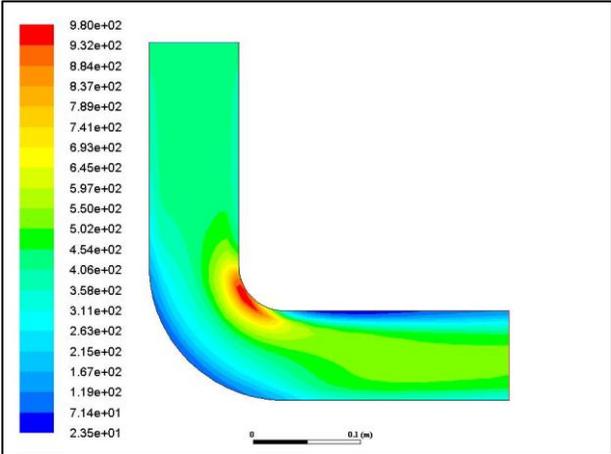


Figure (IV.27) : Contour de pression ($V3 = 1$ m/s).

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié la variation de la vitesse et de la pression par une simulation numérique (2D) de l'écoulement du gasoil dans des conduits de différentes formes géométriques. Nous avons choisi trois vitesses différentes dont une de ces vitesses est égale à l'écoulement du gasoil dans les stations de distribution des hydrocarbures (stations-services ou stations d'essence), ceci en donnant des valeurs proches, supérieures et inférieures à celles des vitesses réelles du gasoil liquide distribué dans les stations de distribution des hydrocarbures. Ceci nous a permis d'étudier l'écoulement en régimes laminaire et turbulent.

Nous avons, au cours de ce travail, utilisé le logiciel ANSYS, basé sur la méthode des volumes finis, pour résoudre les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement qui gouvernent notre modèle physique.

Cette étude nous a permis de décrire le phénomène de l'écoulement dans des conduits de différentes formes, d'étudier l'effet du changement de la section et le changement de la direction sur la pression et la vitesse le long du conduit. Nous avons ainsi étudié l'effet de la vitesse d'entrée sur les différentes structures qui se développent à l'intérieur de ces conduits.

L'analyse des résultats, nous a permis de conclure, que la vitesse réelle ($V=0.4\text{m/s}$) permet d'avoir la différence minimale de pression dynamique entre l'entrée et la sortie des différents conduits étudiés.

Les recommandations qui peuvent être déduites de cette étude sont :

Etudier d'autres formes et d'autres angles (pour le coude) qui permettent de minimiser les contraintes de cisaillement.

Choisir des vitesses plus proches de la vitesse réelle, afin de déterminer la vitesse critique qui permet de minimiser les contraintes de cisaillement et la perte de charge.

Références bibliographiques

- [1] **S. Candel.** Mécanique de fluide, cours 2ème cycle universitaire, Edition Dunod, Paris 1995.
- [2] **D. Le touze.** Ecoulement monodimensionnelles de fluide parfait, Ondes de choc ICAM2 - Promotion 108 – Année 2006-2007.
- [3] **P-Pierre.** Travaux dirigés de mécanique des fluides 1ère master, université paris-sud 11, Année 2010.
- [4] **Google, Wikipédia,** encyclopédie dans internet (02/03/2017).
- [5] **B.Mohamed alghazali.** Simulation d'un écoulement supersonique dans une tuyère converge-diverge (En utilise MATLAB), Mémoire de master université de Biskra (option systèmes énergétiques et développement durable) 2011.
- [6] **B.RIADH,** Notions des mécaniques des fluides, Cours et Exercices Corrigés, Centre de Publication Universitaire, Tunis 2008.
- [7] **Philippe.Marty@legi.grenoble-inp.fr,** Site internet, (06/03/2017).
- [8] **B. Karima.** Etude de l'écoulement laminaire accompagne du transfert de chaleur dans une conduite rectangulaire présentant un changement de section (élargissement brusque), Mémoire de magister université de Skikda. 09/09/2007.
- [9] **www.ac-nancy-metz.fr.** Site internet. 29/03/2017.
- [10] **ION. Paraschivoiu,** « Aérodynamique subsonique », Editions de l'école polytechnique de Montréal (Québec), Canada, 1998.
- [11] **www.lycee-champollion.fr.** Site internet. 29/03/2017.
- [12] **www.thermexcel.com.** Site internet. 27/03/2017.
- [13] **J. Vazquez.** Hydraulique générale, Formation CES / master, Laboratoire Systèmes Hydrauliques Urbains, ENGEES Univ. Strasbourg 2001.
- [14] **L. Bouchaour.** Etude d'un écoulement incompressible autour d'un profil tournant. Mémoire de magister. Univ-Costantine 2011.
- [15] **A.Abdou.** Étude numérique d'une couche limite turbulente autour d'un profil bidimensionnel. Mémoire de magister. Univ-Costantine 2011.
- [16] **W.David.** experimental fluid mechanic. Genevieve Comte-Bellot. 2015.
- [17] **A.Labed,** étude numérique transitoire de la convection thermosolutale dans une enceinte fermée. Mémoire de magister. Univ-biskra .2004.

Abstract

In this study we studied numerically, using ANSYS Workbench version-17.2 simulation software, the stationary and two-dimensional flow of gasoil in ducts of different geometric shapes. The aim is to simulate the flow of gas oil in hydrocarbon distribution stations, the selected velocities allowed to study the flow in laminar and turbulent regimes. The analysis of the results is based on the description of the pressure and velocity structures that develop inside the ducts studied. Through the results, it turns out that the resulting structures depend on geometric shapes and boundary conditions.

Keywords: ANSYS Workbench version-17.2, diesel flow, pressure, speed, boundary conditions, laminar regime, turbulent regime.

Résumé

Dans cette étude nous avons étudié numériquement, à l'aide d'un logiciel de Simulation ANSYS Workbench version-17.2, l'écoulement stationnaire et bidimensionnel du gasoil dans des conduits de différentes formes géométriques. Le but est de simuler l'écoulement du gasoil dans les stations de distribution des hydrocarbures, les vitesses choisies ont permis d'étudier l'écoulement en régimes laminaire et turbulent. L'analyse des résultats est basée sur la description des structures de pressions et de vitesses qui se développent à l'intérieur des conduits étudiés. A travers les résultats, il s'avère que les structures résultantes dépendent des formes géométriques et des conditions aux limites.

Mots clés : ANSYS Workbench version-17.2, écoulement du gasoil, la pression, la vitesse, conditions aux limites, régime laminaire, régime turbulent.

ملخص

في هذه الدراسة قمنا بإجراء محاكاة رقمية لجريان ثنائي البعد، للمازوت داخل قنوات ذات أشكال هندسية مختلفة و ذلك بالاستعانة ببرنامج المحاكاة 'ANSYS Workbench 17.2'. الهدف من هذه المقاربة هو محاكاة جريان المازوت في بعض القنوات التي قد تصادفنا في محطة توزيع البنزين. السرعات التي قمنا باختيارها سمحت بدراسة نوعين من أنظمة الجريان: صفائحي و مضطرب. تحليل النتائج اعتمد على وصف توزيع بنى الضغط و السرعة، التي تتشكل داخل القنوات المدروسة. من خلال هذه الدراسة يتبين أن النتائج تتعلق بشكل كبير بالشكل الهندسي للقناة و كذا بالسرعة المعطاة في الشروط الحدية.

الكلمات المفتاحية : ANSYS Workbench version-17.2 , جريان المازوت, السرعة, الضغط, الشروط الحدية, نسق صفائحي, نسق مضطرب.