



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة محمد الحميد ابن باديس - مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم الهندسة الميكانيكية

Department of Mechanical Engineering



N° d'ordre : M /GM/2020

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

### *Thème*

**SIMULATION NUMÉRIQUE D'UN ÉCOULEMENT À TRAVERS  
UN ÉLARGISSEMENT BRUSQUE**

Présenté par :

- ❖ BESSOLTANE Saida
- ❖ SAIDI Ilyas

*Soutenu le 25/06/2020 devant le jury composé de :*

Président Pr. RETIEL Nouredine Université de Mostaganem UMAB

Examineur Dr. GUERMAT Abdelkader Université de Mostaganem UMAB

Encadreur Dr. KHALDI Abdelaziz Université de Mostaganem UMAB

Année universitaire 2019/2020

## ***Dédicace***

*Je dédie ce travail à mes chers parents,  
A mon frère Haroun et mes amis Khadîdja et Bilal*

*Saida*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes parents, toute ma famille*

*Et tous les gens chers à mon cœur*

*Je dédie également ce travail à toutes les victimes du COVID-19 "الله يرحمهم"*

*Ilyas*

## *Remerciement*

En premier nous remercions Dieu qui nous a donné la volonté pour  
réussir ce travail ;

Nous tenons à remercier nos chers parents qui nous ont soutenu  
durant toute la période de nos études ;

Nous remercions infiniment notre encadreur :  
Monsieur KHALDI Abdelaziz Docteur à l'université de Mostaganem  
pour tous ce qu'il nous a donné ;

Nous adressons nos remerciements à :  
Monsieur le président du jury le Professeur RETIEL Nouredine  
Et monsieur l'examineur le Docteur GUERMAT Abdelkader  
D'avoir accepté d'examiner notre travail ;

Nous tenons à remercier tous nos enseignants pour leurs  
encouragements, leurs efforts et leurs aides afin que nous puissions  
atteindre ce que nous sommes aujourd'hui ;

Nous tenons à remercier aussi monsieur HADJAZI Baroudi et tous  
nos amis qui nous ont aidés pour terminer ce travail.

## ***Résumé***

Dans le présent travail qui est une simulation bidimensionnelle d'un écoulement traversant une conduite à élargissement brusque, nous avons étudié l'influence de plusieurs paramètres à savoir le nombre de Reynolds, le rapport d'expansion et la nature du fluide sur le développement de la zone de recirculation.

Nos résultats et les résultats des travaux antérieurs cités dans ce mémoire montrent que l'augmentation du nombre de Reynolds et le rapport d'expansion ont un effet positif sur l'augmentation la longueur de la zone de recirculation.

Pour le même nombre de Reynolds et le même rapport d'expansion la longueur de la zone de recirculation est plus grande dans un écoulement d'un fluide qui a une viscosité dynamique plus grande par rapport l'écoulement d'un fluide dont sa viscosité dynamique est plus petite.

### **Mots- clés :**

Simulation, Elargissement brusque, Zone de recirculation, Rapport d'expansion, Nombre de Reynolds.

## *Abstract*

In the present work which is a two-dimensional simulation of a flow passing through a pipe with sudden expansion, we have studied the influence of several parameters, namely the Reynolds number, the expansion ratio and the nature of the fluid on the development of the recirculation zone.

Our results and the results of previous work cited in this memo show that the increase in Reynolds number and the expansion ratio have a positive effect on increasing the length of the recirculation zone.

For the same Reynolds number and the same expansion ratio the length of the recirculation zone is greater in a flow of a fluid which has a greater dynamic viscosity compared to the flow of a fluid whose dynamic viscosity is small.

### **Key words:**

Simulation, Sudden expansion, Recirculation zone, Expansion ratio, Reynolds number.

## المخلص

في العمل الحالي الذي هو محاكاة ثنائية الأبعاد لتدفق يمر عبر أنبوب مع توسع مفاجئ ، درسنا تأثير العديد من العوامل، وهي رقم رينولدز ، ونسبة التمدد وطبيعة السائل على تطور منطقة إعادة الدوران.

تظهر نتائجنا ونتائج الأعمال السابقة المذكورة في هذه المذكرة أن الزيادة في رقم رينولدز ونسبة التوسع لها تأثير إيجابي على زيادة طول منطقة إعادة الدوران.

بالنسبة لنفس رقم رينولدز ونسبة التمدد نفسها ، يكون طول منطقة إعادة الدوران أكبر في تدفق مائع له لزوجة ديناميكية أكبر مقارنة بتدفق مائع له لزوجة ديناميكية أصغر.

### الكلمات الدالة :

محاكاة ، توسع مفاجئ ، منطقة إعادة الدوران ،نسبة التمدد ، رقم رينولدز

## Nomenclature

### Lettres latins

Symbole	Dénominations	Unité
$A_1$	Section de conduite en amont	$m^2$
$A_2$	Section de conduite en aval	$m^2$
$d$	Densité	/
$D_1$	Hauteur de la marche en amont	m
$D_2$	Hauteur de la marche en aval	m
$D_j$	Diamètre de jet	m
ER	Rapport d'expansion	/
F	Force de glissement entre les couches	N
g	Gravité	$m/s^2$
K	Coefficient de perte de charge singulière	/
L	Longueur de zone de recirculation	m
$L_1$	Longueur du canal en amont de la marche	m
$L_2$	Longueur du canal en aval de la marche	m
m	Masse	Kg
$P_1$	Pression en amont	Pa
$P_2$	Pression en aval	Pa
$q_m$	Débit massique	Kg/s
Re	Nombre de Reynolds	/
R	Rayon de courbure du coude	m
S	Surface de contact entre deux couches	$m^2$
t	Température	$^{\circ}C$
U	Vitesse d'écoulement	m/s
v	Vitesse	m/s
V	Volume	$m^3$
$X_r$	Abscisse du point de recollement	m
Z	Altitude	m

## Lettres grecques

$\alpha$	Déviation	°
$\mu$	Viscosité dynamique	Pa.s
$\lambda$	Coefficient de perte de charge linéaire	/
$\nu$	Viscosité cinématique	m <sup>2</sup> /s
$\Theta$	Angle d'élargissement	°
$\rho$	Masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	Rugosité	μm
$\Delta$	Variation	/
$\sigma$	Rapport de section	/

# *Table des Matières*

# Table des matières

---

## Table des matières

<i>Introduction générale</i> .....	2
<i>CHAPITRE I : Etude bibliographique</i> .....	3
I.1. Introduction .....	4
I.2. Etude bibliographique .....	4
I.3 Quelques exemples sur les applications de l'élargissement brusque .....	8
Conclusion .....	8
<i>CHAPITRE II : Généralité sur les écoulements</i> .....	9
II.1 Introduction .....	10
II.2 Types des fluides .....	10
II.2.1 Fluide parfait .....	10
II.2.2 Fluide réel .....	10
II.2.3 Fluide compressible .....	10
II.2.4 Fluide incompressible .....	10
II.3 Propriétés physique des fluides .....	11
II.3.1 Masse volumique .....	11
II.3.2 Viscosité .....	11
II.3.2.1 Viscosité dynamique .....	11
II.3.2.2 Viscosité cinématique .....	12
II.3.3 Densité .....	12
II.3.4 Débit .....	12
II.4 Types des écoulements .....	13
II.4.1 Ecoulements permanents ou stationnaires .....	13
II.4.2 Ecoulement laminaire ou turbulent: nombre de Reynolds .....	13
II.4.2.1 Régime laminaire .....	13
II.4.2.2 Régime turbulent .....	13
II.5 Notion des pertes de charge .....	14
II.5.1 Perte de charge linéaire .....	14
II.5.2 Perte de charge singulière .....	15
II.5.2.1 Ecoulements dans les singularités .....	16
a. Changement de direction .....	16
a.1 Coude arrondi .....	16
a.2 Coude brusque .....	17
b. Changement de section .....	17

# Table des matières

---

b.1 Rétrécissement progressif .....	17
b.2 Elargissement progressif.....	17
b.3 Rétrécissement brusque .....	18
b.4 Elargissement brusque.....	19
II.6 Comment se forme la zone de recirculation ? .....	19
II.7.1 Hypothèse.....	20
II.7.2 Théorème de quantité de mouvement .....	20
Conclusion .....	21
<i>CHAPITRE III : Simulation, résultats et discussion</i> .....	22
III.1 Introduction .....	23
III.2 Théorie .....	23
III.2.1 Hypothèses : .....	23
III.2.2 Equations du mouvement (Equations de Navier-Stokes incompressibles).....	24
1. Equation de quantité de mouvement .....	24
2. Equation de continuité .....	24
III.3 Simulation.....	25
III.3.1 La géométrie du modèle avec les conditions aux limites.....	25
III.3.2 Calcul de la vitesse en fonction du nombre de Reynolds .....	26
III.3.3 L'étude de la convergence du maillage .....	26
III.3.3.1 Première méthode de maillage : Triangulaire extrêmement fin .....	27
III.3.3.2 Deuxième méthode de maillage : Triangle avancée de front extrêmement fin .....	28
III.3.3.3 Troisième méthode de maillage : Quadrangle extrêmement fin.....	29
III.3.4 Validation de maillage .....	30
III.4 Résultats et discussion .....	31
III.4.1 Le cas de l'eau avec un rapport d'expansion de 1.5 .....	31
III.4.2 Le cas d'huile summit kluber PGI 100 .....	35
Conclusion.....	40
Références Bibliographiques .....	42

# Liste des figures et des tableaux

---

## Liste des figures

Titre	Page
Figure II.1 : Filet fluide dans le cas régime laminaire.....	13
Figure II.2 : Filet fluide dans le cas régime turbulent.....	13
Figure II.3 : Diagramme de Moody.....	15
Figure II.4 : Coude arrondi.....	16
Figure II.5 : Coude brusque.....	17
Figure II.6 : Rétrécissement progressif.....	17
Figure II.7 : Elargissement progressif.....	17
Figure II.8 : Rétrécissement brusque.....	18
Figure II.9 : Coefficient de perte de charge d'un rétrécissement brusque en fonction de rapport des sections.....	18
Figure II.10 : Elargissement brusque.....	19
Figure III.1 : Représentation de la géométrie de problème avec les conditions aux limites.....	25
Figure III.2 : Représentation de la conduite avec un maillage triangulaire extrêmement fin.....	27
Figure III.3 : La convergence du calcul en fonction de nombre d'itération.....	27
Figure III.4 : Représentation de la conduite avec un maillage triangle avancée de front.....	28
Figure III.5 : La convergence du calcul en fonction de nombre d'itération.....	28
Figure III.6 : Représentation de la conduite avec un maillage quadrangle extrêmement fin.....	29
Figure III.7 : La convergence du calcul en fonction de nombre d'itération.....	29
Figure III.8 : Test d'indépendance de la méthode de maillage.....	30
Figure III.9 : Test d'indépendance du maillage.....	31

## Liste des figures et des tableaux

---

Figure III.10 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesse pour un nombre de Reynolds = 1.....	32
Figure III.11 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 50 .....	32
Figure III.12 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 100.....	33
Figure III.13 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 150.....	33
Figure III.14 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 250.....	34
Figure III.15 : Le champ de vitesses au centre de la conduite en fonction de la longueur de la conduite pour différents nombres de Reynolds et un rapport d'expansion de 1.5 pour le cas d'eau.....	35
Figure III.16 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 1.....	36
Figure III.17 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 50.....	36
Figure III.18 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 100.....	37
Figure III.19 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 150.....	37

## Liste des figures et des tableaux

---

Figure III.20 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 250.....	38
Figure III.21 : Le Champ de vitesses au centre de la conduite en fonction de la longueur de la conduite pour différents nombres de Reynolds et un rapport d'expansion de 1.5 pour le cas d'huile.....	39
Figure III.22 : L'évolution de longueur de zone de recirculation en fonction du nombre de Reynolds pour tous les rapports d'expansion pour l'eau et l'huile.....	40

# Liste des figures et des tableaux

---

## Liste des tableaux

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau III.1 : Les propriétés de chaque fluide.....	25
Tableau III.2 : Les vitesses d'entrée pour les différents nombre de Reynolds pour chaque Fluide.....	26

# *Introduction générale*

## ***Introduction générale***

Les conduites avec singularité sont très utilisables dans l'industrie ; nous venons donc de s'intéresser à leur influence sur le comportement des écoulements des fluides.

Ce travail, à caractère numérique, est une simulation d'un écoulement à travers un élargissement brusque avec des différents rapports d'expansion.

Le but de ce travail est l'étude du comportement de l'écoulement de deux fluides avec des différentes caractéristiques à savoir l'eau et l'huile summit kluber PGI 100 à travers un élargissement brusque avec différents rapports d'expansion et différents nombres de Reynolds pour voir l'influence de ces paramètres sur l'évolution de la zone de recirculation.

Nous commençons notre travail avec un premier chapitre où on présente une revue bibliographique sur les études des écoulements dans des canalisations avec élargissement brusque.

Le deuxième chapitre comporte des brefs rappels et définitions sur les notions de la mécanique des fluides et une description du phénomène étudiée.

Un troisième chapitre qui décrit la simulation et les différents résultats avec leurs interprétations.

Et enfin nous terminons notre travail avec une conclusion générale.

# ***CHAPITRE I***

## ***Etude bibliographique***

### I.1. Introduction

Les écoulements dans les conduites présentant des singularités ont depuis longtemps constitué une source de problèmes lors de la conception et du dimensionnement des installations industrielles (génie nucléaire, pétrolier ou chimique). Parmi ces singularités, l'élargissement brusque (Un changement dans la section de la canalisation en augmentant le diamètre de cette canalisation, avec un angle d'élargissement égale à  $90^\circ$ ) correspond à une situation courante ; son influence peut engendrer d'importantes modifications de l'écoulement telles que la séparation et la redistribution des phases, les instabilités et le changement du régime de l'écoulement. Ces modifications peuvent causer de grandes pertes d'énergie et aussi l'usure mécanique de la structure [1].

### I.2. Etude bibliographique

Nous allons présenter dans ce chapitre une revue bibliographique qui concerne les écoulements dans un élargissement brusque. Nous nous intéressons à présenter quelques travaux de recherche relatifs à l'étude des effets de quelques paramètres caractéristiques sur l'écoulement.

Dans les années précédentes plusieurs auteurs ont étudié le comportement de l'écoulement dans l'élargissement brusque :

Gong et al (1996) ont étudié expérimentalement et théoriquement l'influence du nombre de Reynolds et du rapport d'expansion ER sur la longueur de la zone de recirculation caractérisée par l'abscisse  $X_r$  du point de recollement, dans un réacteur de CVD (chemical vapor deposition). Ils ont observé qu'il y a une relation linéaire entre la variation du rapport  $X_r/D_j$  ( $D_j=2 R_j$  est le diamètre de central du jet) et le nombre de Reynolds quand ce dernier est supérieur à 20. Aussi Ils ont trouvé qu'il y a une relation presque linéaire entre  $X_r/D_j$  et le rapport d'expansion pour  $ER>4$  et  $Re<100$ . Ils ont trouvé une relation de corrélation qui détermine la longueur de la zone de recirculation pour un rapport d'expansion plus grand que 2,6. Les résultats de cette corrélation confirment les données expérimentales à  $ER=15,3$  et les données théoriques à  $ER=2,6$  trouvées dans la littérature [2].

Chaing et al (1999) ont étudié numériquement l'effet du nombre de Reynolds (cas de Re compris entre 50 et 2500) sur l'écoulement laminaire instationnaire aux dessus d'une marche descendante, Ils ont cherché s'il y a un nombre de Re critique, au-dessus duquel la longueur de la zone de recirculation  $X_r$  sur la plaque inférieure du canal diminue.

Ils ont trouvé que la longueur de la zone de recirculation croît avec toutes les valeurs de nombre de  $Re$  testées. Pour  $Re \leq 400$  il n'y a qu'une zone de séparation sur la plaque inférieure, au-delà de cette valeur ( $Re \geq 450$ ) une nouvelle zone de séparation qui contient du fluide en recirculation se forme le long de la plaque supérieure du canal [2].

Osthuizen et Paul (1989) ont étudié numériquement le transfert de chaleur dans le cas de parois chauffées partiellement ou complètement. Ils concluent que le nombre de Stanton moyen, dans la zone de recirculation, augmente avec la hauteur de marche [3].

Vradis et Van Nostrand (1992) ont calculé le nombre de Nusselt en aval d'une marche descendante en tenant compte de la thermo dépendance de l'eau ( $Re \leq 400$ ). La longueur de la zone de recirculation augmente sous l'effet de la diminution de la viscosité. Le rapport de viscosité minimale et maximale ( $\mu_{\max}/\mu_{\min}$ ) est donc un paramètre déterminant de l'écoulement: plus ce rapport est élevé, plus la longueur de recirculation est importante à même nombre de Reynolds [3].

Hoareau (1996) montre la zone de recirculation en phase de développement dans chaque module pour un nombre de Reynolds généralisé égal à 100. A partir de  $Re = 150$ , la zone de recirculation est pleinement développée occupant la totalité de la géométrie. Pour  $Re > 150$ , longueur de la zone de recirculation est constante. Au-delà de  $Re = 550$  et jusqu'à  $Re = 900$ , la zone de recirculation se rétracte très rapidement pour atteindre des longueurs différentes dans chaque module : c'est le passage du régime laminaire au régime turbulent [3].

Thomas Emmert, Philippe Lafon et Christophe Bailly(2007) ont étudié numériquement un écoulement transsonique travers un élargissement brusque dans une conduite rectangulaire. Ils ont choisit taux de pression. Pour un taux de pression très bas, l'écoulement est entièrement supersonique et stationnaire. Pour un taux de pression élevé, l'écoulement devient partiellement subsonique. Les résultats sont comparés avec des données expérimentales issues de la littérature [4].

Md. Shahjahan Ali, Tanziha Mahjabin et Takashi Hosoda (2011) ont étudié numériquement les propriétés fondamentales des écoulements dans un canal ouvert avec une zone morte à travers la simulation numérique tridimensionnelle utilisant deux types de zones mortes: l'une était une cavité latérale rectangulaire et une autre était la zone morte créée à l'aval d'une canalisation avec élargissement brusque.

Ils ont constaté que l'écoulement dans la cavité latérale est caractérisé par trois types de phénomènes d'écoulement: circulation à l'intérieur de la zone morte, tourbillons cohérents périodiques à l'interface de la zone morte, et oscillation de la surface de l'eau à l'intérieur de la zone morte. Pour le canal ouvert avec élargissement brusque, bien que la plage amont du domaine d'écoulement soit comme le débit de la cavité, le débit dans la zone agrandie avait la liberté de s'écouler vers l'aval [5].

D. K. Mandal, S. Bandyopadhyay et S. Chakrabarti (2011) ont effectué une analyse numérique et une simulation des performances d'un élargissement brusque avec une clôture vue comme un diffuseur.

Ils ont utilisé un algorithme simple pour résoudre des équations différentielles bidimensionnelles pour la conservation de la masse et de mouvement. Le nombre de Reynolds est compris entre 20 et 100 et l'angle sous-tendu de clôture (FSA) entre  $10^\circ$  et  $30^\circ$ . L'emplacement de la clôture par rapport à la gorge varie de 0,2 à 2,6. Ils ont étudié l'effet de chaque variable sur la pression statique moyenne, l'efficacité du diffuseur, la distance de montée maximale de la pression statique et la stagnation moyenne et les comparé avec des résultats concerne l'élargissement brusque simple sans clôture.

Ils ont trouvé que pour des nombres de Reynolds faibles et angle sous-tendu de clôture faible l'élargissement brusque avec clôture n'offre pas toujours avantages plus élevés par rapport l'élargissement brusque sans clôture, Mais pour une FSA plus élevée, même à un Re plus faible, la clôture offre plus d'avantages [6].

Y. Salhi, E.K. SI-Ahmed, J. Legrand, J.M Rosant (2011) ont étudié expérimentalement l'influence d'une singularité sur le régime d'écoulement diphasique gaz-liquide en conduite horizontale : cas de l'élargissement brusque présentant un rapport de sections  $\sigma = 0,444$ . Ils ont trouvé que la chute de pression en écoulement diphasique est plus prononcée qu'en écoulement monophasique. La chute de pression singulière  $\Delta P_s$  croît linéairement en fonction de la vitesse du liquide [1].

Khudheyer S. Mushatet, Qais A. Rishakb et Mohsen H. Fagr (2015) ont effectué une étude numérique sur un écoulement dans un canal avec élargissement brusque contient des obstacles adiabatiques rectangulaires montés derrière la zone d'expansion sur la paroi supérieure et inférieure du ce canal. Pour voir les effets de la longueur des obstacles,

épaisseur des obstacles et nombre d'obstacles sur l'écoulement et les champs thermiques pour différents nombres de Reynolds et le taux d'expansion examinés.

Trois valeurs de taux d'expansion (ER) égal à 1,5, 1,75 et 2 ont été utilisées. Le choix des valeurs du nombre de Reynolds tient compte de l'état de symétrie. Ils ont trouvé que les obstacles ont un effet considérable sur la dynamique de l'écoulement et amélioration du transfert de chaleur. De plus, Ils ont constaté que le transfert de chaleur est davantage amélioré à mesure l'épaisseur des obstacles augmente et cette tendance diminue à mesure que la longueur des obstacles augmente [7].

R. Rezka et M.Khadja (2016) ont effectué une étude numérique sur un écoulement diphasique en régime stationnaire dans un élargissement brusque pour différent rapport de diamètre. Ils ont cherché l'influence de la géométrie sur l'écoulement diphasique pour trois valeurs du rapport des diamètres de l'élargissement brusque soit  $r=1.5$ ,  $r=2$  et  $r=2.5$ .

Ils ont trouvé que le changement de section entraîne une augmentation des pertes de charge dans l'élargissement brusque, dans la zone dite de recirculation. L'augmentation du rapport de l'élargissement crée une instabilité au niveau de l'écoulement qui engendre des écoulements secondaires tels que les zones de recirculations.

La chute de pression en écoulement diphasique est plus prononcée qu'en écoulement monophasique [8].

Pour évaluer la corrélation classique dans les minis conduites, S. Djellouli, E.G. Filali, A. Bekhouche, S. Sisalah (2016) Ont effectué une étude numérique sur une mini-conduite lisse, de section circulaire, présentant un élargissement brusque. Le fluide entre avec une vitesse uniforme  $U_e$ , variant de 0,1 m/s à 30 m/s. Ils ont choisit des rapports  $R_p$  de 1,5 ; 2 et 3.

Ils ont observé une évolution progressive de la longueur de séparation en fonction du nombre de Reynolds jusqu'à une valeur de 1000 correspondant à un régime laminaire. Au-delà d'une valeur du nombre de Reynolds supérieure à 5000 la longueur de séparation reste pratiquement constante. Cependant elle subit une diminution lorsque le rapport d'élargissement augmente [9].

Pavel Lobanov, Maksim Pakhomov, et Viktor Terekhov (2019) ont effectué une étude sur le transfert de chaleur du flux de bulles en aval dans élargissement brusque. Ils ont trouvé

que l'ajout de bulles d'air a entraîné une augmentation significative du taux de transfert de chaleur (jusqu'à 300%) [10].

### **I.3 Quelques exemples sur les applications de l'élargissement brusque**

Les écoulements dans l'élargissement brusque sont présents dans de nombreux phénomènes naturels et dans plusieurs domaines de la recherche. Parmi ces domaines la mécanique des fluides, l'échange thermique et les processus industriels tel que :

- Les conduites utilisées dans la production pétrolières comportent des changements de section qui provoquent des pertes de pression ainsi que la séparation de la phase liquide dans les points bas comme le cas de propane de réfrigération qui traverse un compresseur à vis lubrifié à l'huile, Le propane sort du compresseur à travers un séparateur primaire sous forme élargissement brusque pour la séparation entre  $C_3$  et l'huile ;
- Les conduits d'échappement utilisés pour vider les chambres de combustion des gaz brûlés ;

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue bibliographique sur l'étude de l'effet de la singularité de l'élargissement brusque sur l'écoulement. Diverses études sur ce sujet témoignent de son intérêt pratique. Nous avons révélé certains résultats expérimentaux et numériques qui se dégagent de la littérature sur ce sujet de recherche.

## ***CHAPITRE II***

### ***Généralité sur les écoulements***

## II.1 Introduction

La mécanique des fluides consiste en l'étude du repos et du mouvement des liquides et des gaz. Il s'agit d'une branche de la mécanique des milieux continus qui soulève de nombreux problèmes que doit résoudre l'ingénieur et ce dans des domaines divers [11].

## II.2 Types des fluides

Les fluides sont des substances susceptibles de s'écouler et de prendre la forme du récipient qui les contient.

Lorsqu'ils sont en équilibre les fluides ne peuvent opposer de résistance aux forces tangentielles ou travers.

Tous les fluides présentent un certain degré de compressibilité et n'offrent aucune résistance aux changements de forme [12].

### II.2.1 Fluide parfait

On dit d'un fluide qu'il est parfait, si on peut décrire son mouvement sans tenir en considération les effets de frottement (viscosité nulle).

### II.2.2 Fluide réel

Par contre, Dans un fluide réel, On prend en considération les effets de frottement. On observe ce phénomène dans le cas de mouvement du fluide.

### II.2.3 Fluide compressible

Un fluide est dit compressible, Si son volume s'influe de la variation de la pression extérieure.

### II.2.4 Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible, Si la pression extérieure n'a aucun effet sur son volume.  $\rho = \text{cste}$

### II.3 Propriétés physique des fluides

#### II.3.1 Masse volumique

La masse volumique est le rapport entre la masse et le volume occupé.

$$\rho = m / V \quad (\text{II.1})$$

$\rho$  : Masse volumique en  $\text{kg/m}^3$

$m$  : Masse en Kg

$V$  : Volume en  $\text{m}^3$

En raison de la dilatation, le volume d'une masse donnée de produit liquide varie avec la température. Il faut donc toujours préciser la température correspondant à la valeur d'une masse volumique.

Pour les gaz il est également important de préciser la valeur de la pression.

#### II.3.2 Viscosité

Une grandeur qui présente la capacité de fluide à s'écouler lorsqu'il est exposé à une force. On distingue deux types de viscosité :

##### II.3.2.1 Viscosité dynamique

La viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à un effort.

$$F = \mu \cdot S \cdot \Delta V / \Delta Z \quad (\text{II.2})$$

$F$  : Force de glissement entre les couches en (N)

$\mu$  : Viscosité dynamique en (Pa.s)

$S$  : Surface de contact entre deux couches en ( $\text{m}^2$ )

$\Delta V$  : Ecart de vitesse entre deux couches en (m/s)

$\Delta Z$  : Distance entre deux couches en (m)

### II.3.2.2 Viscosité cinématique

Elle représente le rapport entre la viscosité dynamique et la masse volumique d'un fluide.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{II.3})$$

$\nu$  : Viscosité cinématique en ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\rho$  : Masse volumique en ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$\mu$  : Viscosité dynamique en ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

### II.3.3 Densité

La densité d'un liquide est définie par rapport à l'eau. La densité d'un liquide est le rapport entre la masse volumique du liquide et la masse volumique de l'eau.

Dans le cas des gaz, l'air est considéré le fluide de référence.

$$d = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}} \quad (\text{II.4})$$

### II.3.4 Débit

Dans les tuyauteries et capacités (colonnes, ballons, réacteurs, fours, etc.) d'une unité de fabrication en fonctionnement, des fluides (gaz ou liquides seuls ou en mélange) circulent souvent en continu.

La quantité de produit qui passe en un point d'une tuyauterie pendant un temps donné est appelée débit et l'on distingue :

- le débit massique qui s'exprime le plus souvent en :

- tonnes par heure t/h,
- tonnes par jour t/j
- ou kilogrammes par seconde kg/s (Unité Système SI)

- le débit volumique qui s'exprime le plus souvent en :

- mètres cube par heure  $\text{m}^3/\text{h}$
- mètres cube par jour  $\text{m}^3/\text{j}$
- mètres cube par seconde  $\text{m}^3/\text{s}$  (Unité Système SI)

- ou litres par seconde l/s
- en Nm<sup>3</sup>/h pour les gaz (t = 0°C et P = 1 atm) [13]

## II.4 Types des écoulements

### II.4.1 Ecoulements permanents ou stationnaires

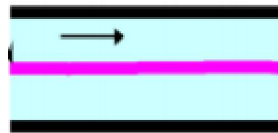
Un régime d'écoulement permanent est un régime qui ne dépend pas du temps C'est-à-dire tous les grandeurs caractéristiques de cet écoulement (pression, température, vitesse, masse volumique, ..), ne varient pas en fonction du temps.

### II.4.2 Ecoulement laminaire ou turbulent: nombre de Reynolds

Reynolds (1883) à partir des expériences faites sur l'écoulement incompressible dans une conduite cylindrique rectiligne. Il a trouvé qu'il y a deux régimes d'écoulements : laminaire et turbulent.

#### II.4.2.1 Régime laminaire

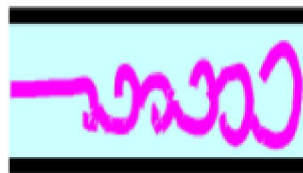
Les filets fluides sont des lignes régulières, sensiblement parallèles entre elles [14].



**Figure II.1 : Filet fluide dans le cas régime laminaire [14]**

#### II.4.2.2 Régime turbulent

Les filets fluides s'enchevêtrent, s'enroulent sur eux-mêmes [14].



**Figure II.2 : Filet fluide dans le cas régime turbulent [14]**

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 :

$$Re = U D / \nu \quad (II.5)$$

Où :

U : la vitesse moyenne de l'écoulement ;

D : le diamètre de la canalisation ;

$\nu$  : la viscosité cinématique du fluide.

Si :

- $Re < 2000$  le régime est laminaire ;
- $Re > 2000$  le régime est turbulent
- Lisse si  $2000 < Re < 100000$
- Rugueux si  $Re > 100000$  [14].

## II.5 Notion des pertes de charge

On considère un écoulement d'un fluide réel dans une conduite. Les pertes de charge dues, ont une relation avec la forme, les dimensions et la rugosité de la canalisation, la vitesse d'écoulement et la viscosité du liquide mais non de la valeur absolue de la pression qui règne dans le liquide. On distingue deux types de perte de charge :

$$\Delta p = \Delta p \text{ linéaire} + \Delta p \text{ singulière} \quad (\text{II. 6})$$

### II.5.1 Perte de charge linéaire

La perte de charge linéaire ou répartie, est une perte d'énergie due aux frottements dans un tube à section fixe et une certaine longueur.

$$\Delta P \text{ linéaire} = \frac{\lambda L \rho V^2}{2d} \quad (\text{II.7})$$

d : diamètre de la conduite considérée (m)

L : longueur de la conduite considérée (m)

$\rho$  : Masse volumique du fluide ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\lambda$  : Coefficient de perte de charge linéaire. Il dépend de la nature de l'écoulement et de l'état de surface de la conduite (Sans dimension)

Selon le nombre de Reynolds, on distingue différents cas : [15]

**1<sup>er</sup> cas :  $Re < 2000$**  L'écoulement laminaire,  $\lambda$  ne dépend que du nombre de Reynolds.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (\text{II.8}) \quad (\text{Loi de poiseuille})$$

**2ème cas :  $Re > 3000$**  L'écoulement turbulent

Pour  $4000 < Re < 10^5$  l'écoulement est dit turbulent hydrauliquement lisse.  $\lambda$  ne dépend que du nombre de Reynolds.

$$\lambda = 0.316 . Re^{-0.25} \quad (\text{II.9}) \quad (\text{Loi de blasius})$$

Pour  $Re > 10^5$  l'écoulement est turbulent hydrauliquement rugueux.  $\lambda$  ne dépend que de  $\epsilon/d$

$$\lambda = 0.79\sqrt{(\epsilon/d)} \quad (\text{II.10}) \quad (\text{Loi de blench})$$

**3ème cas :  $2000 < Re < 3000$** , c'est le régime transitoire entre le laminaire et le turbulent

A partir de nombre du Reynolds et de la rugosité, on peut déterminer  $\lambda$  dans le diagramme de Moody.

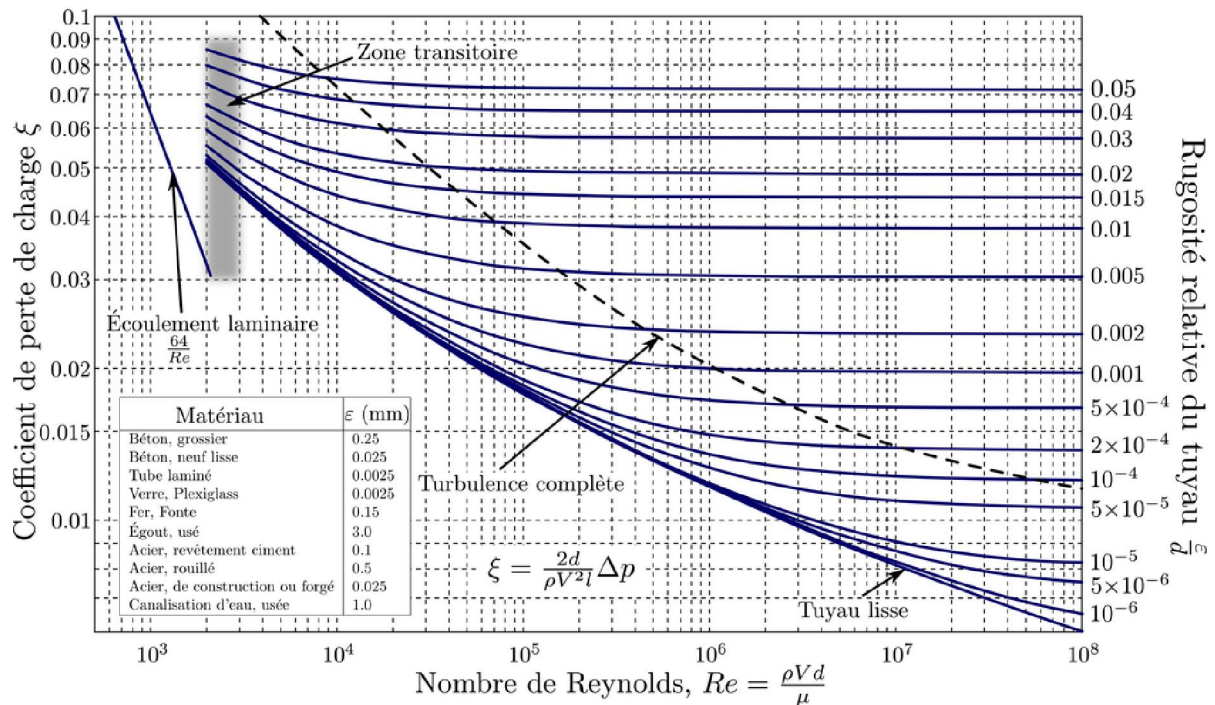


Figure II.3 : Diagramme de Moody [15]

### II.5.2 Perte de charge singulière

Des pertes de charge apparaissent lors de changement de direction d'écoulement, de changement de diamètre, et lorsque des dispositifs (vannes, raccords et manchons, coudes, tés, etc.) sont disposés sur la ligne d'écoulement [16].

$$\Delta P \text{ singulière} = K \rho v^2 / 2 \quad (\text{II.11})$$

K : coefficient de perte de charge singulière, il dépend de la nature de la singularité.

### II.5.2.1 Ecoulements dans les singularités

#### a. Changement de direction

##### a.1 Coude arrondi

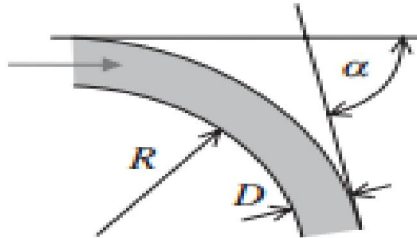


Figure II.4 : Coude arrondi [16]

$$\Delta h = \frac{Kv^2}{2g} \quad (\text{II.12})$$

K est donnée en fonction de :

R : rayon de courbure du coude en mètres

D : diamètre intérieur du tuyau en mètres

$\alpha$  : déviation en degrés

D'après la formule de Weisbach on a :

$$K = \frac{\left[0.131 + 1.847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3.5}\right] \alpha}{90} \quad (\text{II.13})$$

Exemple :

Pour  $\alpha=90$  dans le cas où  $R/D=1$  :  $k=0.3$

## a.2 Coude brusque

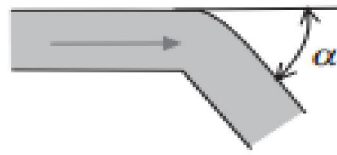


Figure II.5 : Coude brusque [16]

$$K = \sin^2 \alpha + 2 \cdot \sin^4 (\alpha/2) \quad (\text{II.14})$$

D'après cette relation, On peut connaitre le coefficient de perte de charge pour les divers angles  $\alpha$

Exemple :

Le coefficient de perte de charge  $K=1.5$  dans le cas ou  $\alpha =90$

## b. Changement de section

## b.1 Rétrécissement progressif

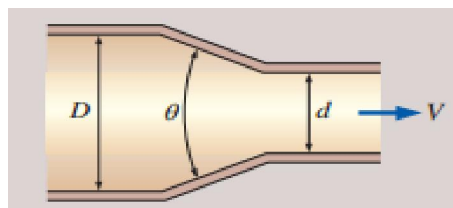


Figure II.6 : Rétrécissement progressif [17]

La perte de charge est négligeable.

## b.2 Elargissement progressif

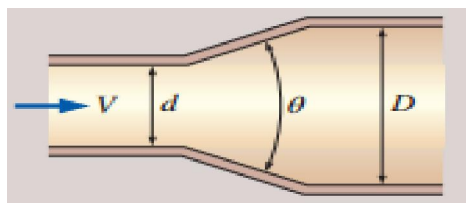


Figure II.7 : Elargissement progressif [17]

K est donnée en fonction de :

d : Diamètre de la canalisation en amont (m)

D: Diamètre de la canalisation en aval (m)

$\Theta$  : angle d'élargissement (en degré)

$$K = 3.2 \left( \tan \left( \frac{\Theta}{2} \right) \right)^{1.25} \cdot \left( 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right)^2 \quad (\text{II.15})$$

Si l'angle d'élargissement est supérieur à 20, On considère le comportement de l'élargissement progressif comme de l'élargissement brusque. [18]

**b.3 Rétrécissement brusque**

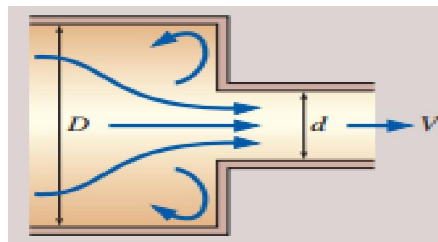


Figure II.8 : Rétrécissement brusque [17]

La formule de calcul s'écrit :

$$h = Kv^2 / 2g \quad (\text{II.16})$$

K : Coefficient due au rétrécissement brusque

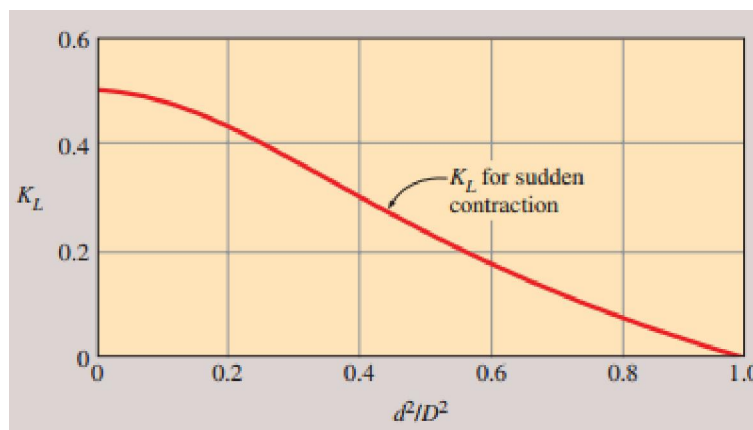


Figure II.9 : Coefficient de perte de charge d'un rétrécissement brusque en fonction de rapport des sections [17]

### b.4 Elargissement brusque

Les pertes de charge singulières dans l'élargissement brusque est due à partir la transformation de l'énergie par les chocs et les tourbillons provoqués par l'éclatement de la de la veine fluide à l'aval. En effet on constate une zone de tourbillonnaires extérieure à la veine d'écoulement que l'on appelle zone de recirculation.

### II.6 Comment se forme la zone de recirculation ?

À un niveau plus fondamental, cette géométrie primitive a servi de prototype pour comprendre la dynamique de l'écoulement de séparation. Lorsque le fluide s'écoule à travers l'élargissement, il entraîne une augmentation de la pression statique au détriment d'une baisse de l'énergie cinétique d'écoulement.

Dans la section élargie, un noyau se forme avec un profil de vitesse relativement plat, qui s'étale derrière l'expansion et se sépare du fluide restant par une surface de séparation. À des nombres de Reynolds modérés à élevés, la surface de séparation devient instable et génère des tourbillons turbulents dans une zone de décrochage à recirculation ou à mélange libre, les tourbillons se développant et disparaissant progressivement.

Par conséquent, immédiatement en aval de l'expansion, le flux peut être considéré comme un jet dans une recirculation annulaire qui s'étend radialement sur la plus grande section de tuyau jusqu'à ce que le rattachement à la paroi du tuyau se produise [19].

### II.7 Coefficient de perte de charge due à l'élargissement brusque

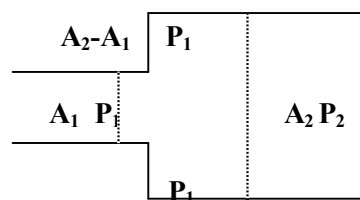


Figure II.10: Elargissement brusque

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (\text{II.17})$$

Les zones de recirculation développée en aval de l'élargissement brusque ne participent pas à l'écoulement global

**II.7.1 Hypothèse**

La distance entre  $A_1$  et  $A_2$  est assez faible pour ne pas prendre en considération la perte de charge linéaire.

On suppose au niveau de la section  $A_1$  que la pression  $P_1$  est répartie sur la section  $A_2-A_1$ .

**II.7.2 Théorème de quantité de mouvement**

$$P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 + P_1(A_2 - A_1) = q_m(v_2 - v_1) \quad (\text{II.18})$$

$P_1 \cdot A_1$  : Force de pression en amont

$P_2 \cdot A_2$  : Force de pression en aval

$P_1(A_2-A_1)$  : Force de pression au surface de paroi en contact avec la zone de recirculation

Après simplification on obtient :

$$P_1 \cdot A_2 - P_2 \cdot A_2 = q_m(v_2 - v_1) \dots \dots (1)$$

$$\text{Avec : } q_m = \rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 \dots \dots (2)$$

On remplace (2) dans (1)

$$(P_1 - P_2)A_2 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2(v_2 - v_1) \dots \dots (3)$$

Equation de Bernoulli entre 1 et 2 :

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot Z_1 + \rho \cdot \frac{v_1^2}{2} = P_2 + \rho \cdot g \cdot Z_2 + \rho \cdot \frac{v_2^2}{2} + \Delta P_{1-2} \dots \dots (4)$$

$$P_1 - P_2 = \Delta P_{1-2} + \rho \cdot \frac{v_2^2}{2} - \rho \cdot \frac{v_1^2}{2} \dots \dots (5)$$

On remplace (3) dans (5) on obtient :

$$\Delta P_{1-2} = \rho \cdot v_2^2 - \rho \cdot v_1 \cdot v_2 + \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2) \dots \dots (6)$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{\rho}{2}(v_2^2 + v_1^2 - 2 \cdot v_1 \cdot v_2)$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{\rho}{2}(v_1 - v_2)^2$$

$$\Delta P = \rho K v^2 / 2$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2$$

Avec :  $q_m = \rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

Donc :

$$\Delta P_{1-2} = \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \dots (7)$$

Avec  $A_1 = \pi \cdot \frac{D_1^2}{4}$  et  $A_2 = \pi \cdot \frac{D_2^2}{4}$

$$(7) \text{ devient : } \Delta P_{1-2} = \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$$

$D_1$  : diamètre intérieur de la conduite avant l'élargissement en mètres

$D_2$  : diamètre intérieur de la conduite après l'élargissement en mètres

Dans le cas de la sortie vers un réservoir le terme  $A_1/A_2$  tend vers zéro parce que la section de réservoir est plus grande que celle de tuyau  $\rightarrow K \sim 1$

## Conclusion

Nous concluons qu'il existe de nombreuses caractéristiques et propriétés physiques de chaque fluide, de plusieurs types d'écoulement et des conduites qui sont des raisons les plus importantes qui affectent de manière directe sur la quantité des pertes de charge dans un écoulement à travers une conduite.

## ***CHAPITRE III***

### ***Simulation, résultats et discussion***

### III.1 Introduction

Le problème majeur des canalisations est l'écoulement dans les singularités qui peuvent causer des changements tel que changement de régime d'écoulement. Parmi ces singularités l'élargissement brusque.

Notre travail consiste à l'étude des effets de l'élargissement brusque sur l'évolution de la zone de recirculation d'écoulement.

Nous allons effectuer une simulation numérique de deux dimensions à l'aide d'un logiciel basé sur la méthode des éléments finis, l'avantage de cette méthode numérique est que toutes les quantités physiques liées à l'écoulement (champ de vitesse, concentration, champ de pression ....) sont immédiatement disponible.

Notre étude porte sur la variation du nombre de Reynolds, le rapport d'expansion et la nature du fluide qui circule dans la conduite pour voir leurs influences sur la formation et la longueur de la zone de recirculation.

### III.2 Théorie

Puisque nous avons un écoulement à travers une conduite à élargissement brusque donc pour pouvoir réaliser cette simulation nous allons utiliser le modèle qui utilise les équations de Navier-Stokes incompressibles stationnaires.

Ce modèle calcul les composantes de vitesse du fluide  $u$  dans les directions  $x$  et  $y$  et sa pression  $p$  dans la région définie par la géométrie de la conduite.

#### III.2.1 Hypothèses :

Dans notre simulation, Nous nous sommes appuyés sur les hypothèses suivantes :

Écoulement stationnaire :  $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

Fluide incompressible :  $\rho = \text{Cste}$

Écoulement bidimensionnel :  $\frac{\partial}{\partial z} = 0$

Forces de pesanteur négligeables :  $\rho f = 0$

Fluide newtonien :  $\mu = \text{cste}$

**III.2.2 Equations du mouvement (Equations de Navier-Stokes incompressibles) :**

**1. Equation de quantité de mouvement :**

$$\rho \frac{d\vec{u}}{dt} = \rho \vec{f} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} \dots\dots\dots (III.1)$$

$$\rho \frac{d\vec{u}}{dt} = \rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \overrightarrow{grad} \vec{u} \right) \dots\dots\dots (III.2)$$

On remplace l'équation (III.1) dans l'équation (III.2), On obtient :

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \overrightarrow{grad} \vec{u} \right) = \rho \vec{f} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} \dots\dots\dots (III.3)$$

Avec :  $\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \vec{0}$  ;  $\rho \vec{f} = \vec{0}$  ;

$$\rightarrow \rho (\vec{u} \cdot \overrightarrow{grad} \vec{u}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u}$$

$$\rightarrow -\mu \nabla^2 u + \rho (u \cdot \nabla) u + \nabla p = 0 \dots\dots\dots (III.4)$$

**2. Equation de continuité :**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{u}) = 0 \dots\dots\dots (III.5)$$

Avec :  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$  ;  $\rho = \text{cste}$  ;

$$\rightarrow \text{div}(\rho \cdot \vec{u}) = 0$$

$$\rightarrow \rho \cdot \text{div}(\vec{u}) = 0$$

$$\rightarrow \text{div}(\vec{u}) = 0$$

$$\rightarrow \nabla u = 0 \dots\dots\dots (III.6)$$

III.3 Simulation

III.3.1 La géométrie du modèle avec les conditions aux limites

La figure suivante représente la géométrie de la conduite tracée en 2 dimensions.

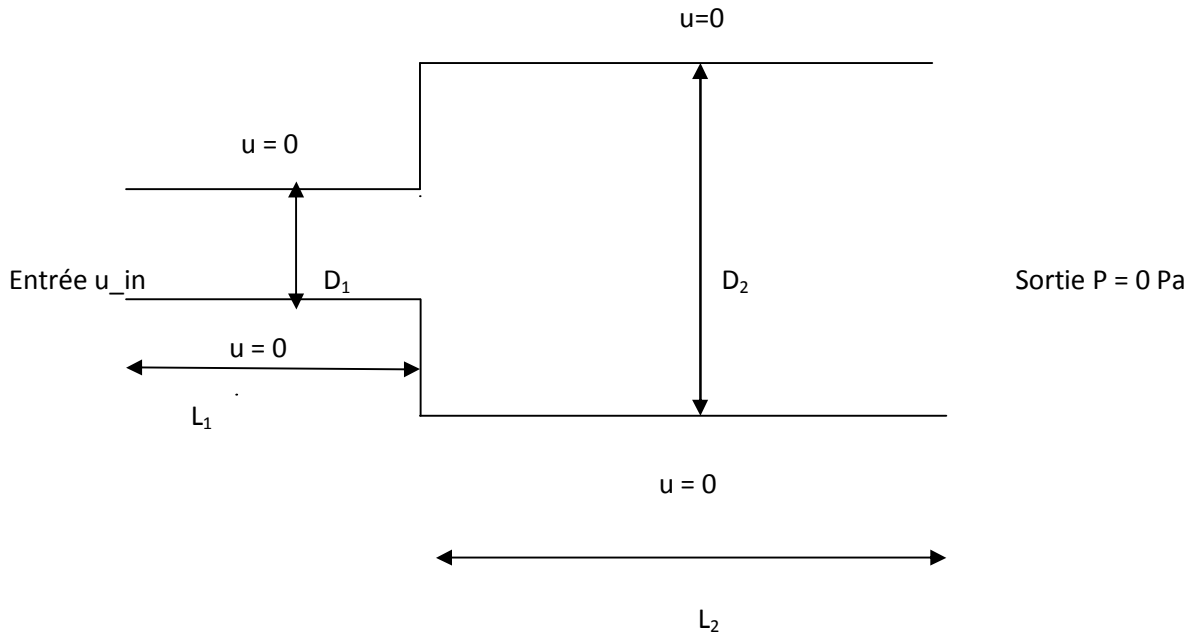


Figure III.1 : Représentation de la géométrie de problème avec les conditions aux limites

Où  $D_1 = 0.01\text{m}$  représente la hauteur du canal en amont de la marche, et différentes hauteurs en aval de la marche  $D_2$  (0.015 ; 0.02 ; 0.025 ; 0.03 ; 0.035 ; 0.04). La longueur  $L_1$  du canal en amont de la marche et la longueur  $L_2$  du canal en aval de la marche sont respectivement égales à 0.02m et 0.3 m.

Nous allons utiliser deux fluides le premier c'est l'eau et le deuxième c'est l'huile summit Kluber PGI 100 qui est une huile synthétique utilisée dans le compresseur de propane réfrigérant comme lubrifiant dans différents points à savoir : Les roulements, La garniture d'étanchéité... Il est utilisé à 40 °C.

Le tableau suivant regroupe les propriétés physiques utilisé de nos deux fluides.

Propriété	La masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ )	La viscosité dynamique(Pa.s)
L'eau	997 ( $\text{kg/m}^3$ )	0.0000891 (Pa.s)
L'huile summit Kluber PGI 100	990 ( $\text{kg/m}^3$ )	0.10098 (Pa.s)

Tableau III.1 : Les propriétés de chaque fluide

### III.3.2 Calcul de la vitesse en fonction du nombre de Reynolds

Pour pouvoir varier le nombre de Reynolds pour chaque fluide il faut trouver la vitesse correspondante à chaque nombre de Reynolds voulu.

Voici un exemple de calcul pour le cas de l'eau et  $Re = 1$ .

$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ ;  $D1 = 0.01 \text{ m}$ ;  $\mu = 8.91 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$

$$Re = \rho v D1 / \mu$$

$$v = Re \mu / \rho D1$$

$$v = 1 * 8.91 * 10^{-5} / (997 * 0.01)$$

$$v = 8.94 * 10^{-6} \text{ (m/s)}$$

De la même façon on trouve les valeurs qui sont regroupées dans le tableau qui suit :

Nombre de Reynolds	Vitesses pour le cas d'eau (m/s)	Vitesses pour le cas d'huile summit kluber PGI 100 (m/s)
1	$8.94 \times 10^{-6}$	0.0102
50	$4.468 \times 10^{-4}$	0.51
100	$8.937 \times 10^{-4}$	1.02
150	$1.341 \times 10^{-3}$	1.53
200	$1.787 \times 10^{-3}$	2.04
250	$2.234 \times 10^{-3}$	2.55

**Tableau III.2 : Les vitesses d'entrée pour les différents nombre de Reynolds pour chaque fluide**

### III.3.3 L'étude de la convergence du maillage

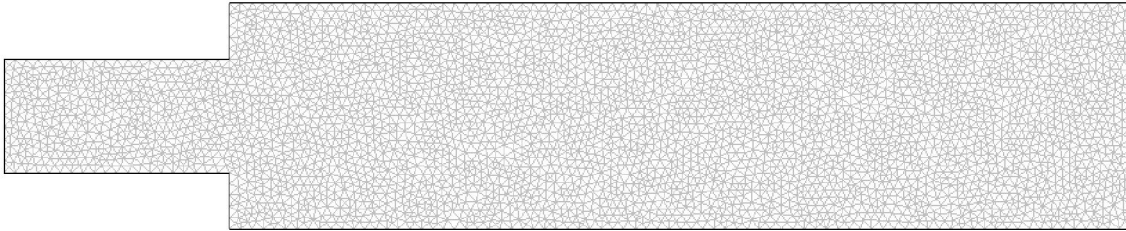
Lors de la simulation avec un logiciel d'éléments finis, un maillage plus fin produit généralement une solution plus précise. En contrepartie, ce maillage plus fin augmente le temps de calcul.

C'est pour cela qu'on a fait une étude de convergence du maillage.

Notre logiciel nous donne le choix entre trois types de maillages avec plusieurs niveaux de raffinement et avec la possibilité du raffinement du maillage.

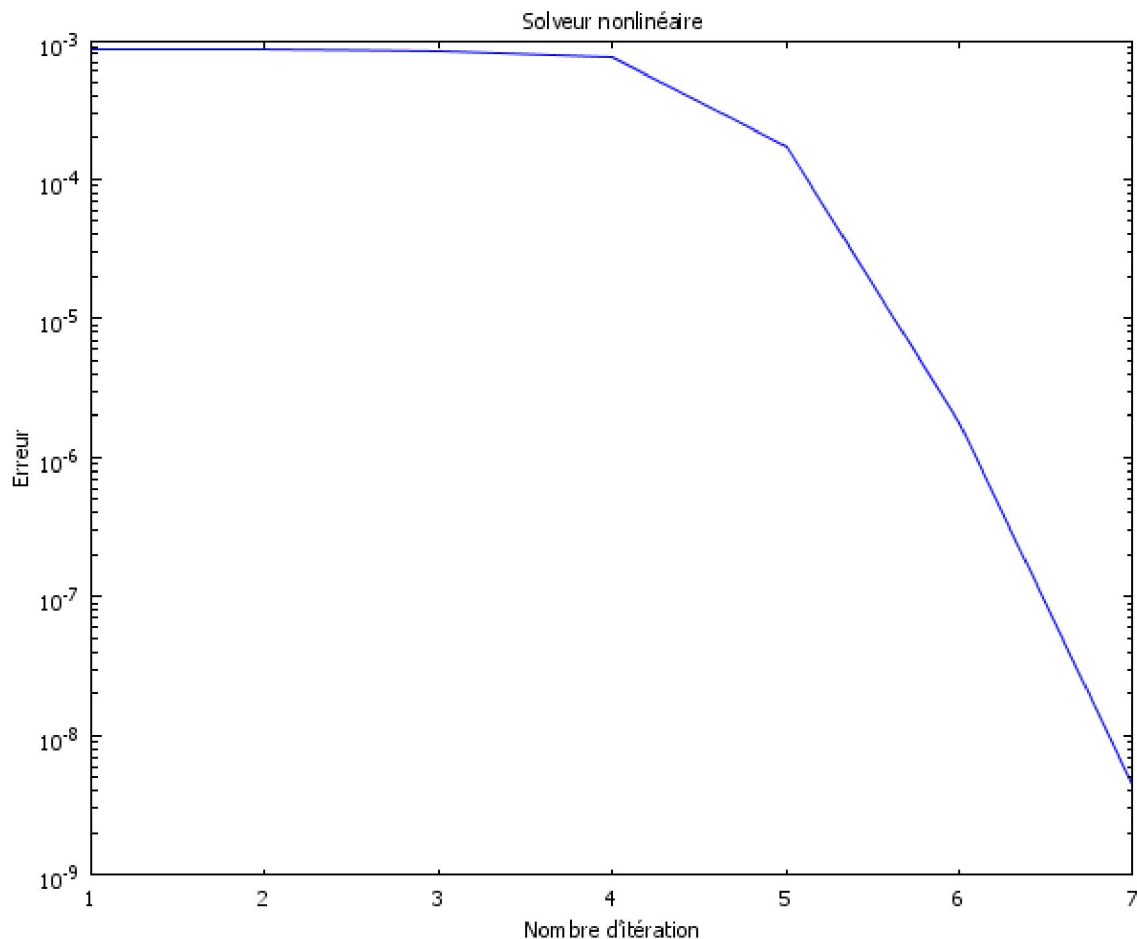
Mais le raffinement du maillage va augmenter le nombre des éléments du maillage et le temps de calcul qui va causer le problème de la capacité de notre ordinateur à pouvoir calculer.

### III.3.3.1 Première méthode de maillage : Triangulaire extrêmement fin



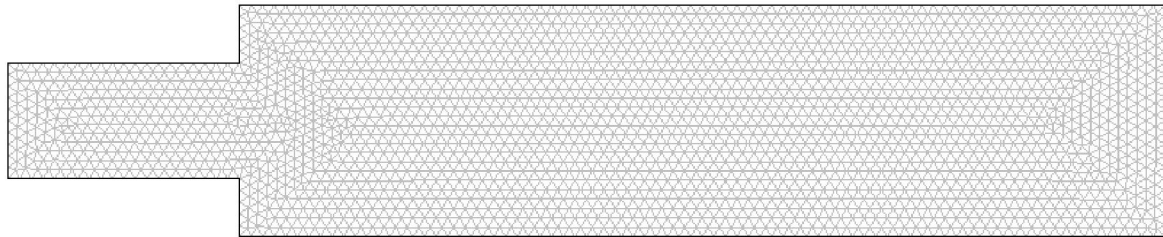
**Figure III.2 : Représentation de la conduite avec un maillage triangulaire extrêmement fin**

Ce premier maillage pour le cas de l'eau, un nombre de Reynolds de 250 et un rapport d'expansion de 1.5 comporte 6033 éléments. Le temps de calcul est de 6.141 secondes. La solution converge après 7 itérations comme le montre la figure suivante :



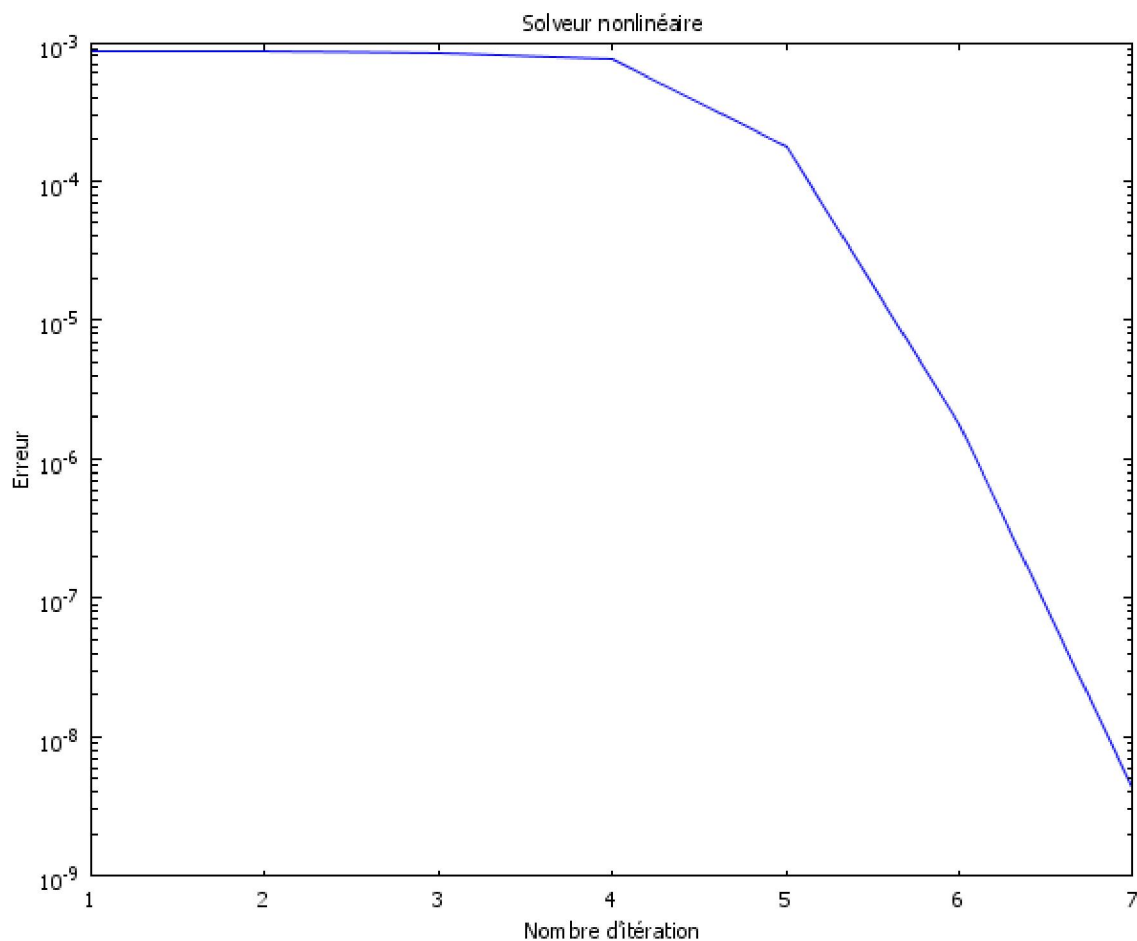
**Figure III.3 : La convergence du calcul en fonction de nombre d'itération**

### III.3.3.2 Deuxième méthode de maillage : Triangle avancée de front extrêmement fin



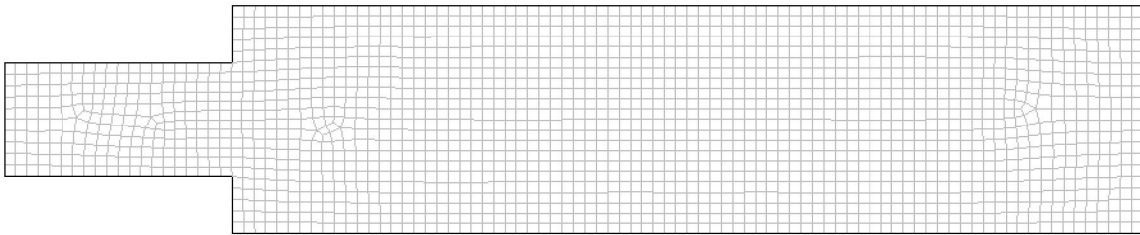
**Figure III.4 : Représentation de la conduite avec un maillage triangle avancée de front**

Ce maillage pour le cas de l'eau, un nombre de Reynolds de 250 et un rapport d'expansion de 1.5 comporte 3641 éléments. Le temps de calcul est de 3.747 secondes. La solution converge après 7 itérations comme le montre la figure suivante :



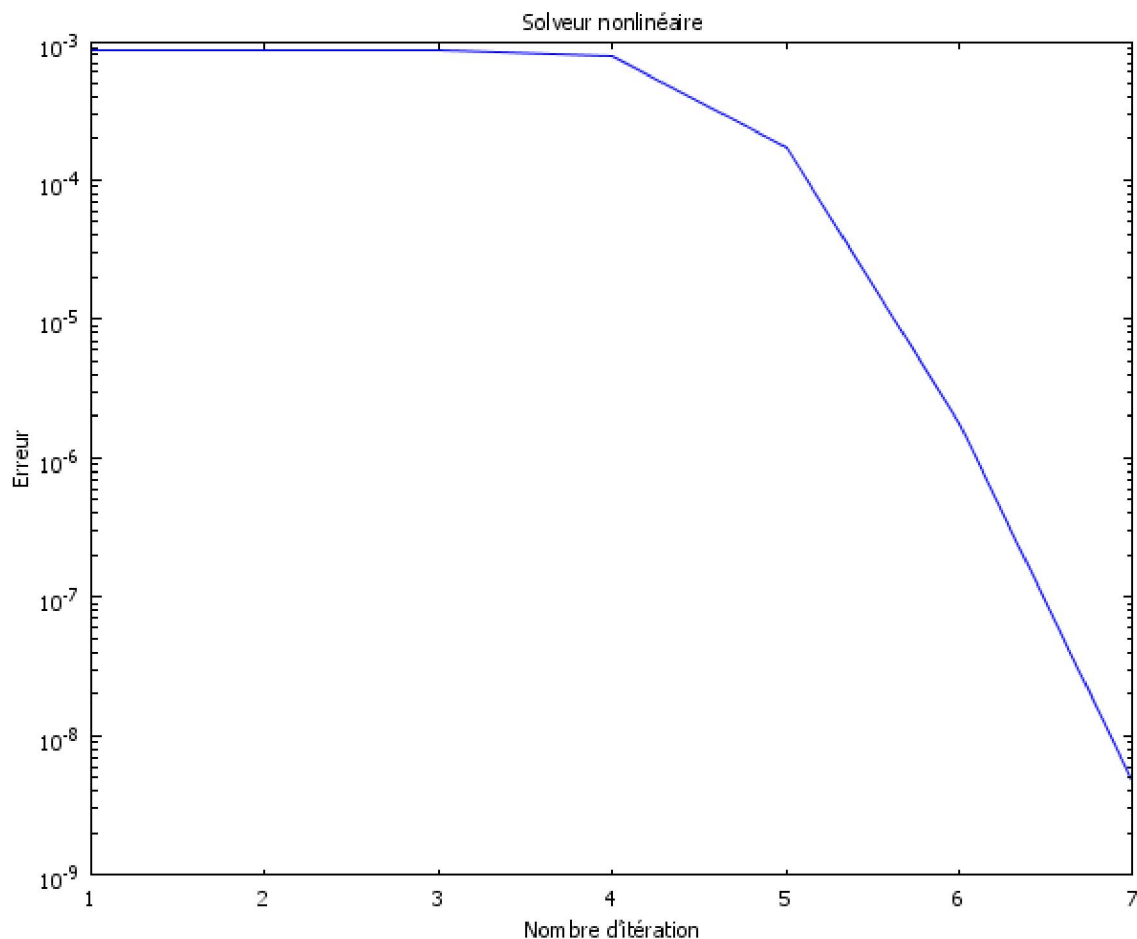
**Figure III.5 : La convergence du calcul en fonction de nombre d'itération**

### III.3.3.3 Troisième méthode de maillage : Quadrangle extrêmement fin



**Figure III.6 : Représentation de la conduite avec un maillage quadrangle extrêmement fin**

Ce dernier maillage pour le cas de l'eau, un nombre de Reynolds de 250 et un rapport d'expansion de 1.5 comporte 1539 éléments. Le temps de calcul est de 4.141 secondes La solution converge après 7 itérations comme le montre la figure suivante :



**Figure III.7 : La convergence du calcul en fonction de nombre d'itération**

Les trois maillages convergents et nous donne un résultat et chaque maillage nécessite un certain temps de calcul.

### III.3.4 Validation de maillage

La figure III.8 montre le profil de champ de vitesses le long du centre de la conduite pour le cas de l'eau, un nombre de Reynolds de 250 et un rapport d'expansion de 1.5 en fonction de différentes méthodes du maillage citée précédemment.

Les trois courbes sont identiques, il est clair que le type de maillage n'a pas une influence sur la solution.

La méthode de maillage triangle avancée de front sera retenue pour notre étude.

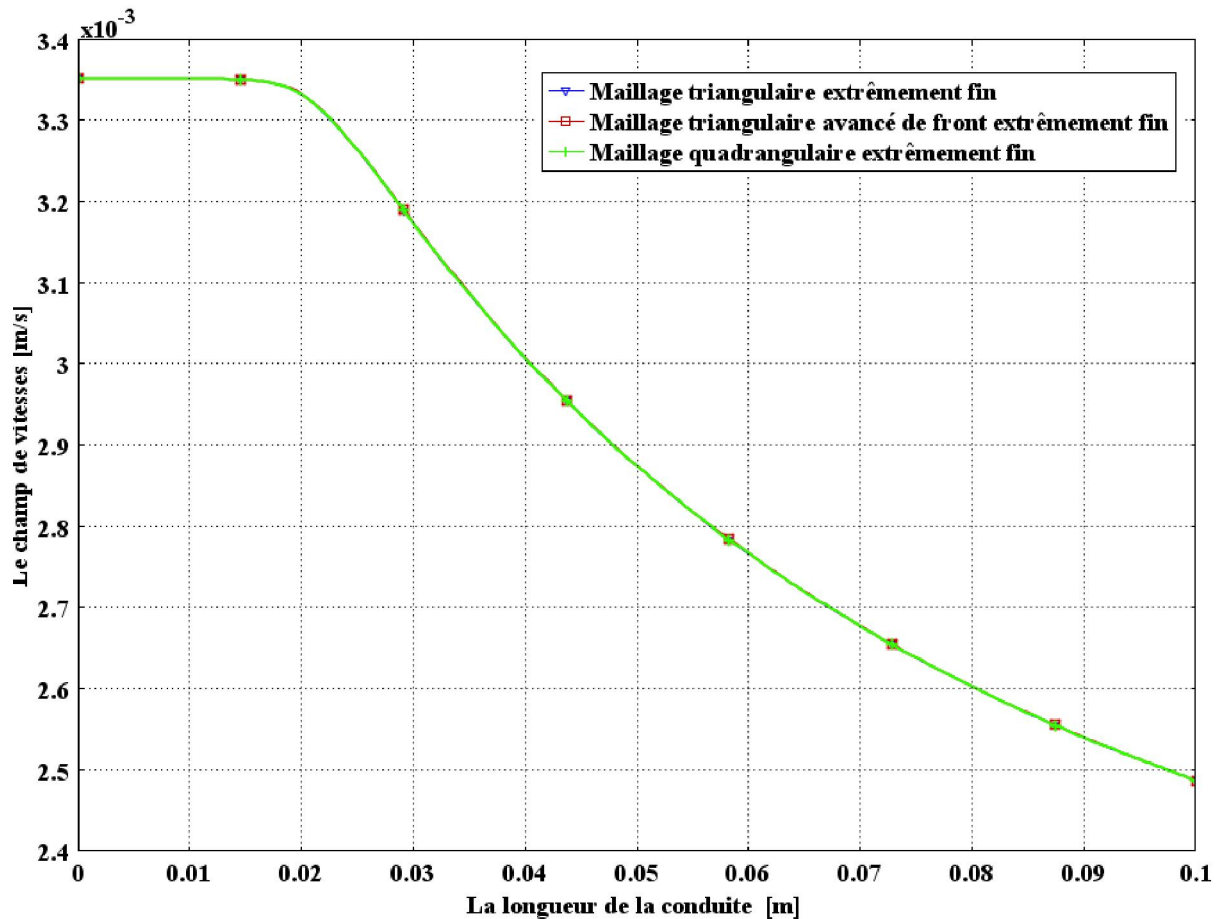


Figure III.8 : Test d'indépendance de la méthode de maillage

La figure III.9 montre le profil de champ de vitesses le long du centre de la conduite pour le cas de l'eau, un nombre de Reynolds de 250 et un rapport d'expansion de 1.5 obtenus avec la méthode de triangle avancée de front constitués de 3641, 14564 et 58256 éléments.

Les trois courbes sont superposées, il est clair que le raffinement du maillage n'a pas une influence sur la solution.

Le premier maillage (3641 éléments) sera retenu pour notre étude.

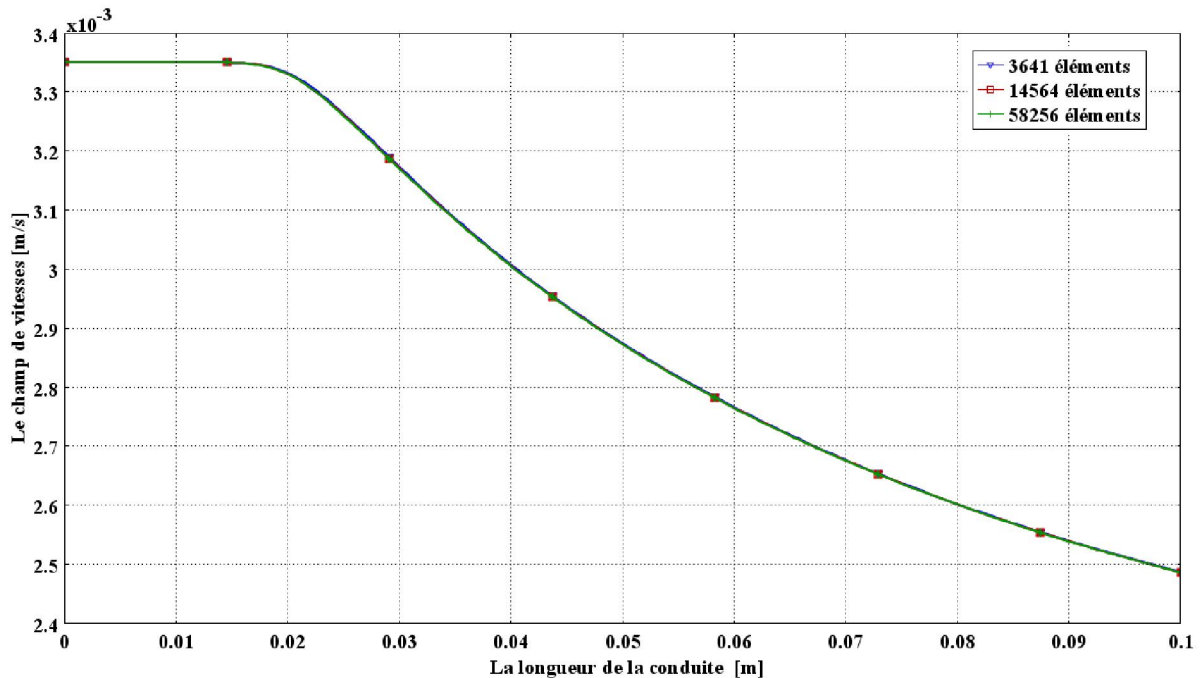


Figure III.9 : Test d'indépendance du maillage

### III.4 Résultats et discussion

Comme déjà mentionner nous allons étudier l'écoulement de deux fluides à savoir l'eau et l'huile summit kluber PGI100 à travers une conduite à élargissement brusque avec différents rapports d'expansion (1.5 ; 2 ; 2.5 ; 3 ; 3.5 ; 4), Nous varions le nombre de Reynolds (1 ; 50 ; 100 ; 150 ; 200 ; 250) pour voir l'évolution de la zone de recirculation.

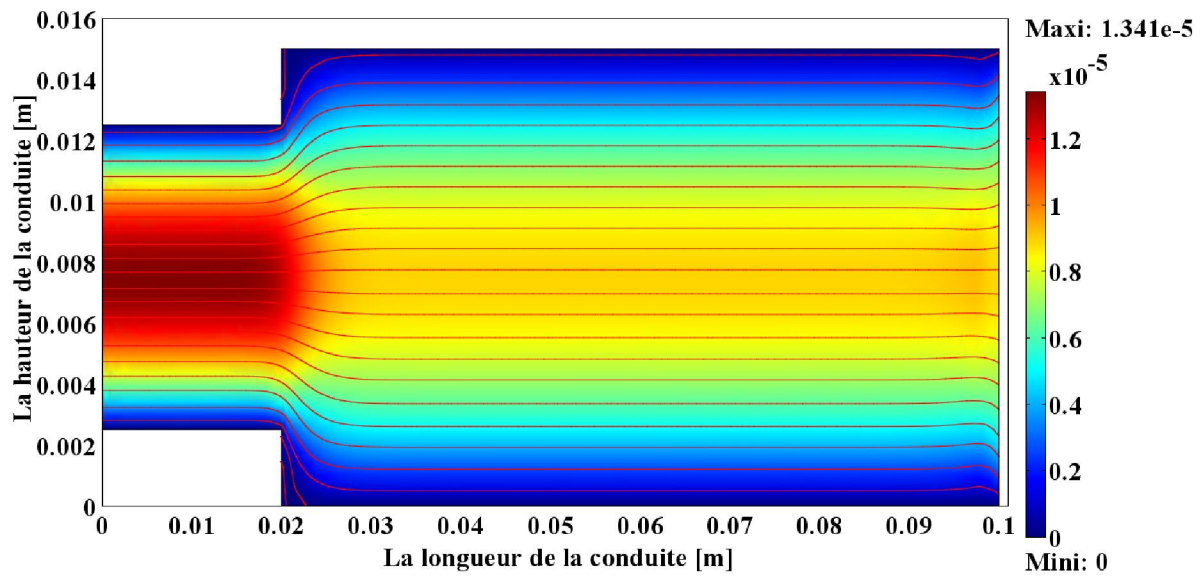
Vu qu'on ne peut pas représenter tous les résultats obtenue car il y a 72 cas étudié, nous allons présenter un exemple et pour les autres cas on va les regroupées dans des graphes.

#### III.4.1 Le cas de l'eau avec un rapport d'expansion de 1.5

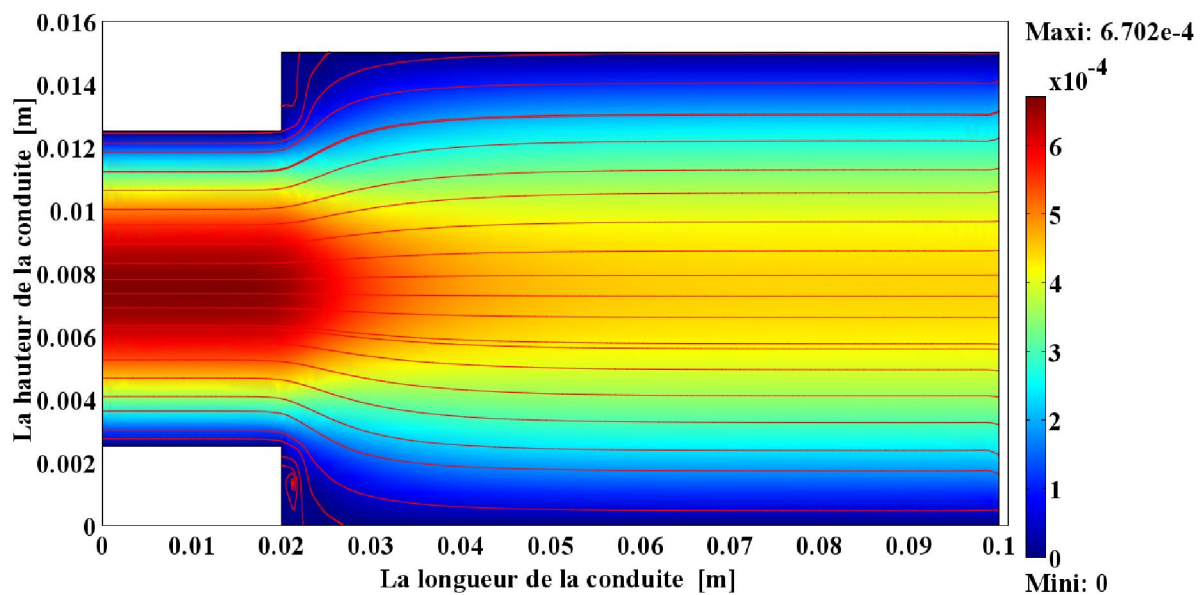
Les figures III.10, III.11, III.12, III.13, III.14 et III.15 représentent les champs de vitesse en fonction de la longueur de la conduite. On observe que la vitesse maximale est au milieu de la conduite.

On peut bien remarquer l'évolution de la zone de recirculation en augmentant le nombre de Reynolds.

Pour  $Re = 1$  il n'y a pas de zone de recirculation, pour  $Re = 50$  on observe une petite zone de recirculation dans la partie inférieure, pour  $Re = 150$  la zone de recirculation augmente, jusqu'à  $Re=250$  ou la zone de recirculation devient plus grand.



**Figure III.10 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 1**



**Figure III.11 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 50**

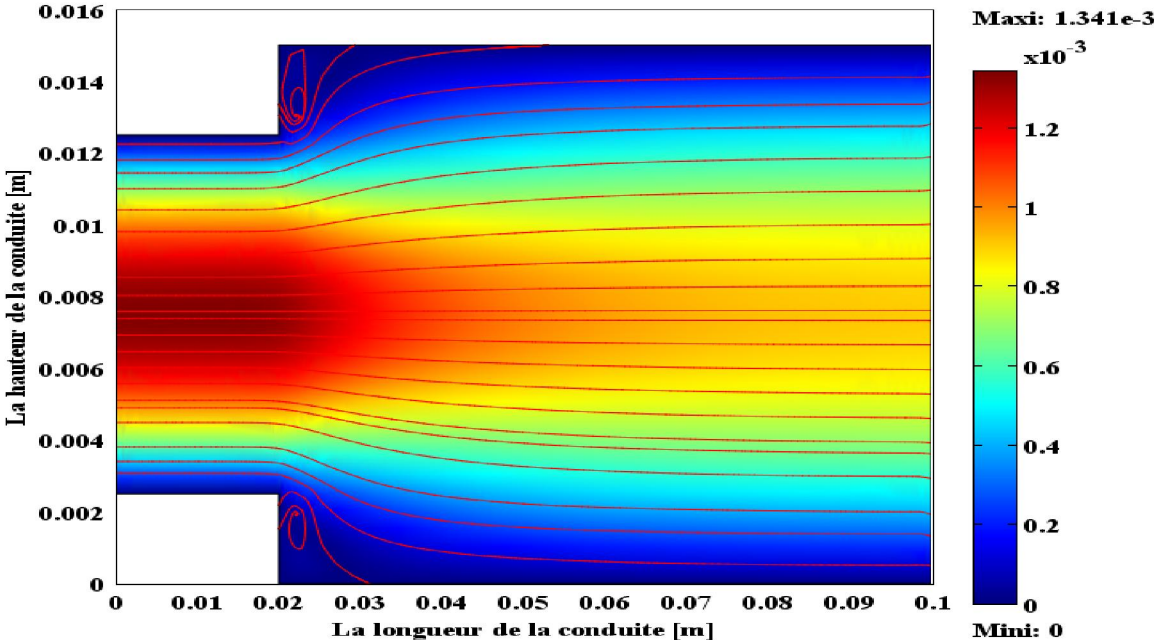


Figure III.12 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 100

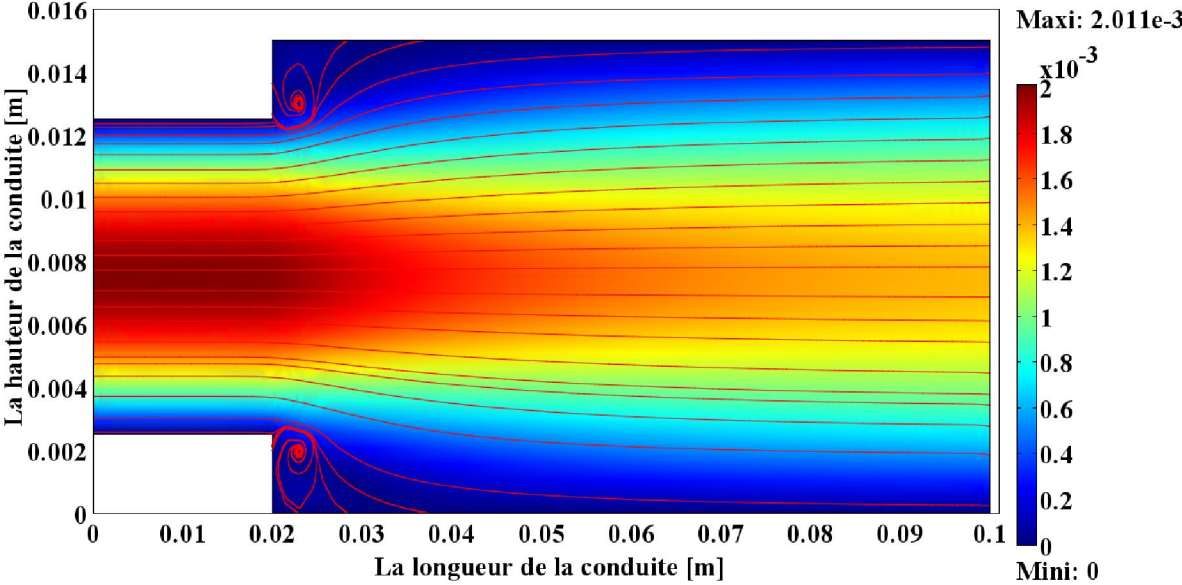
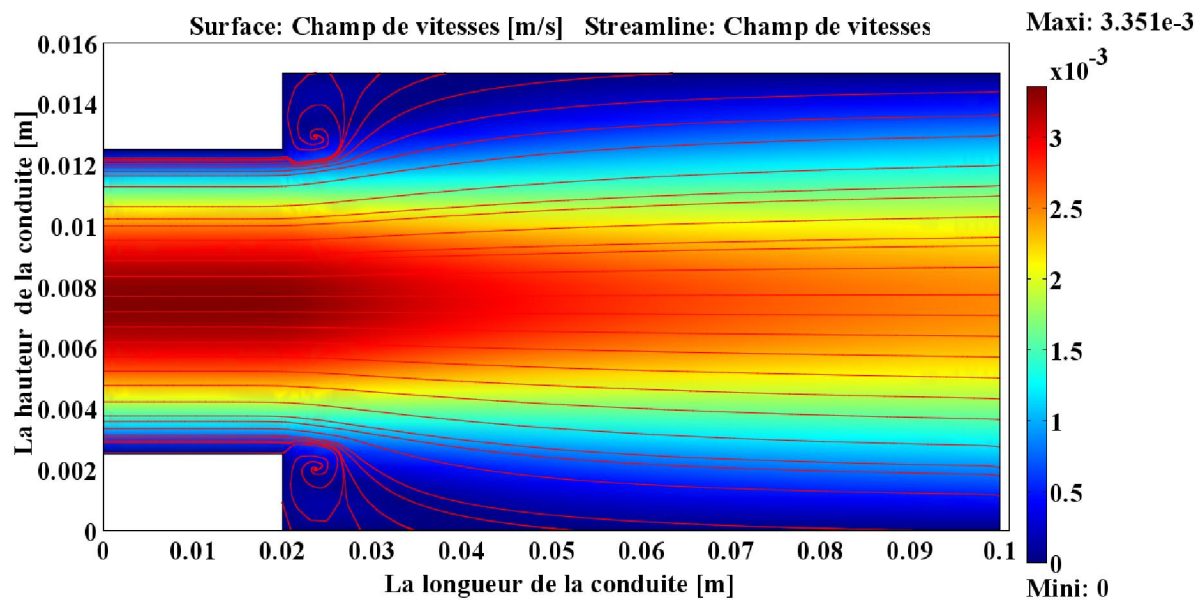


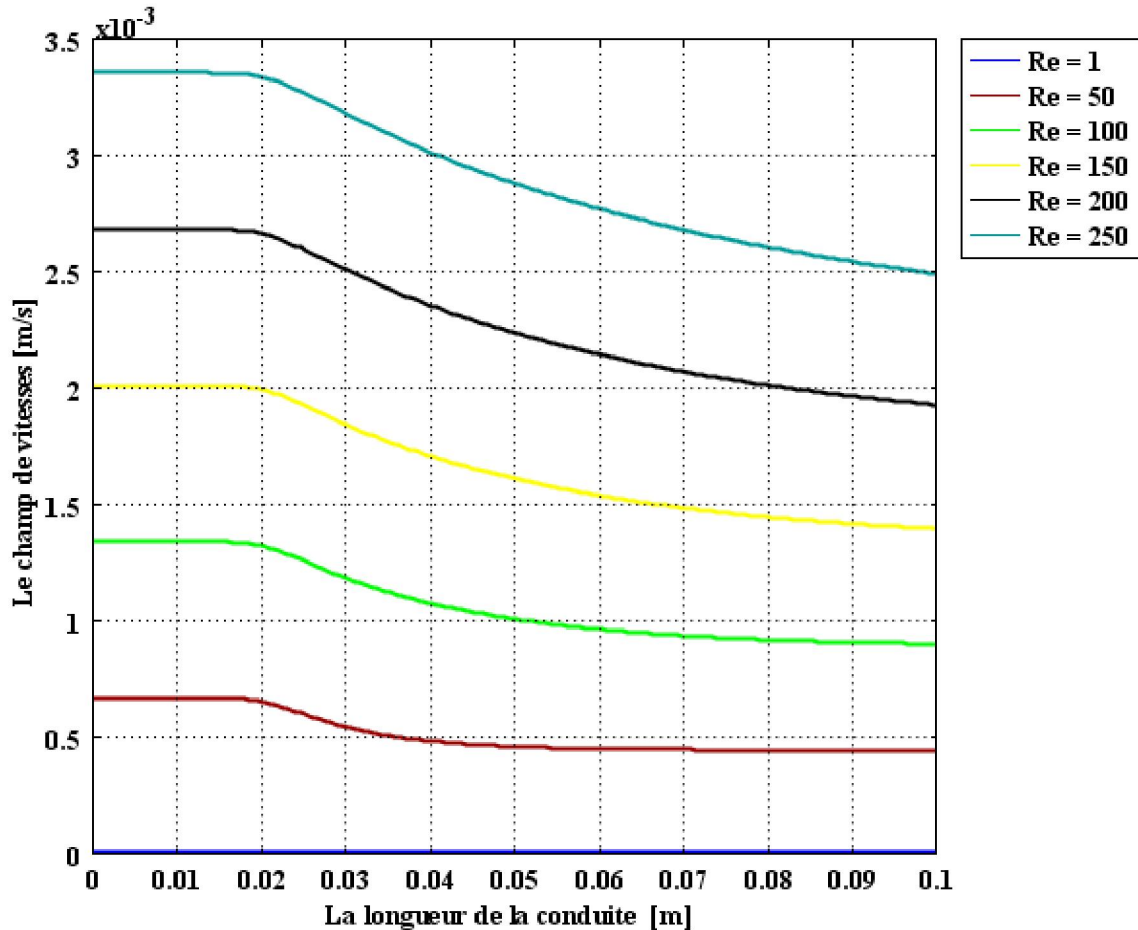
Figure III.13 : Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 150



**Figure III.14: Surface: Champ de vitesses [m/s]  
et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 250**

Le graphe suivant représente le champ de vitesses au centre de la conduite en fonction de la longueur de la conduite pour différents nombres de Reynolds et un rapport d'expansion de 1.5 pour le cas de l'eau.

On observe que le champ de vitesse augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds. Pour chaque nombre de Reynolds, Le champ de vitesse est constant sur la longueur de la marche en amont. Ce champ diminue lorsque la section de la conduite agrandit.

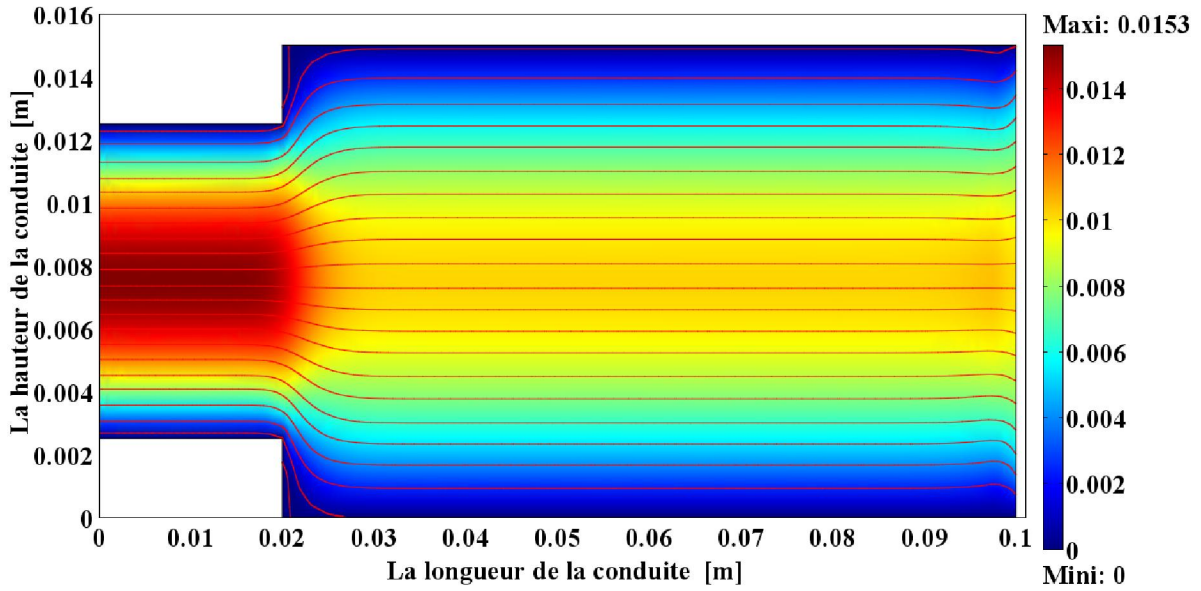


**Figure III.15 : Le champ de vitesses au centre de la conduite en fonction de la longueur de la conduite pour différents nombres de Reynolds et un rapport d'expansion de 1.5 pour le cas d'eau**

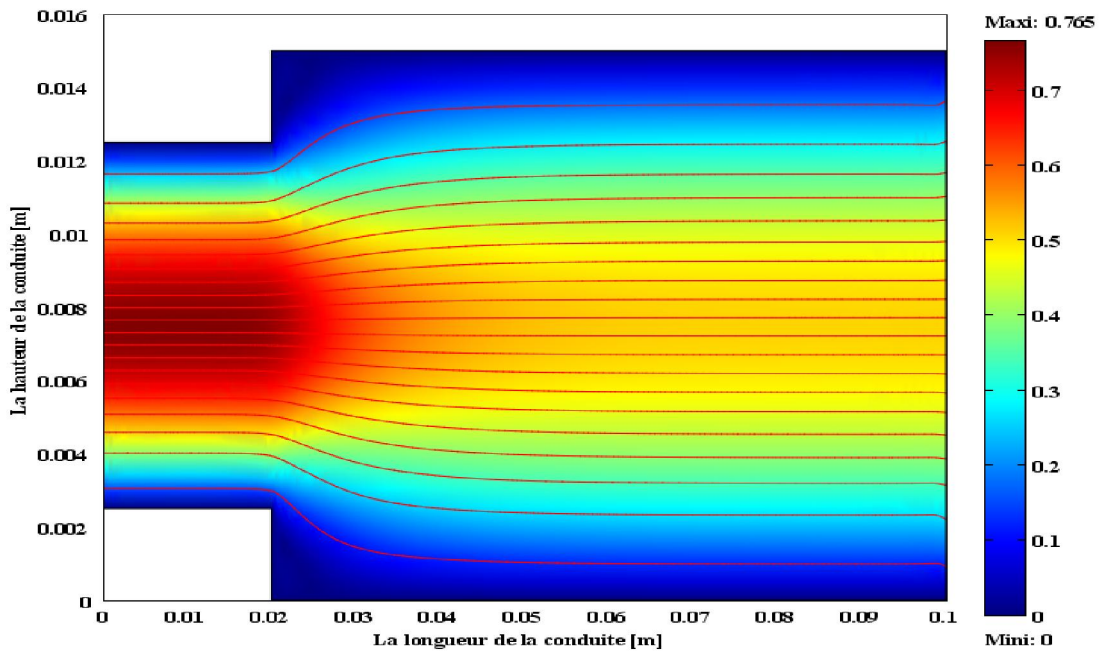
#### III.4.2 Le cas d'huile summit kluber PGI 100

Les figures III.16, III.17, III.18, III.19 et III.20 représentent les champs de vitesse en fonction différents nombre de Reynolds.

Pour l'évolution de la zone de recirculation, On observe que pour  $Re = 1$  on ne remarque aucune zone de recirculation, A partir de  $Re = 100$  la zone de recirculation commence à se développer et à augmenter.



**Figure III.16 : Surface: Champ de vitesses [m/s]  
et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 1**



**Figure III.17 : Surface: Champ de vitesses [m/s]  
et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 50**

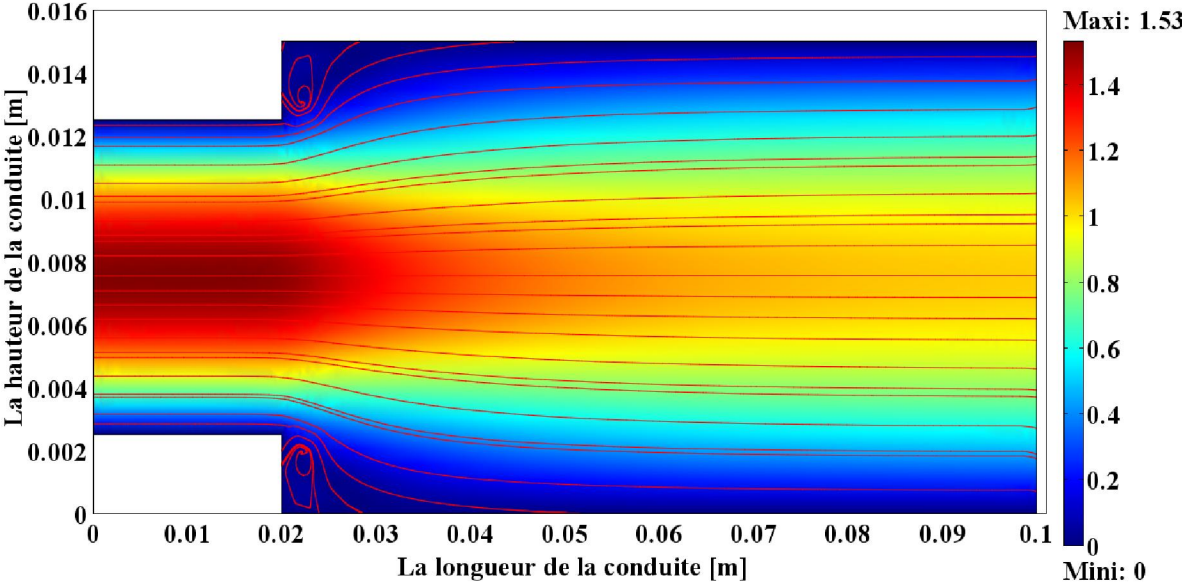


Figure III.18: Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 100

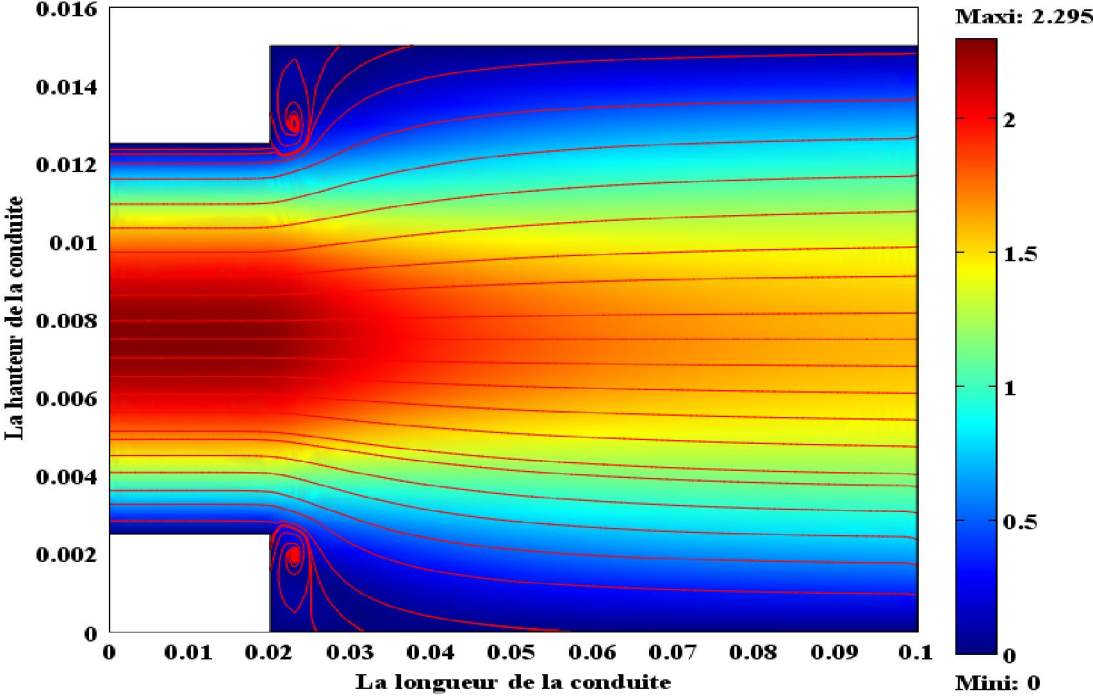
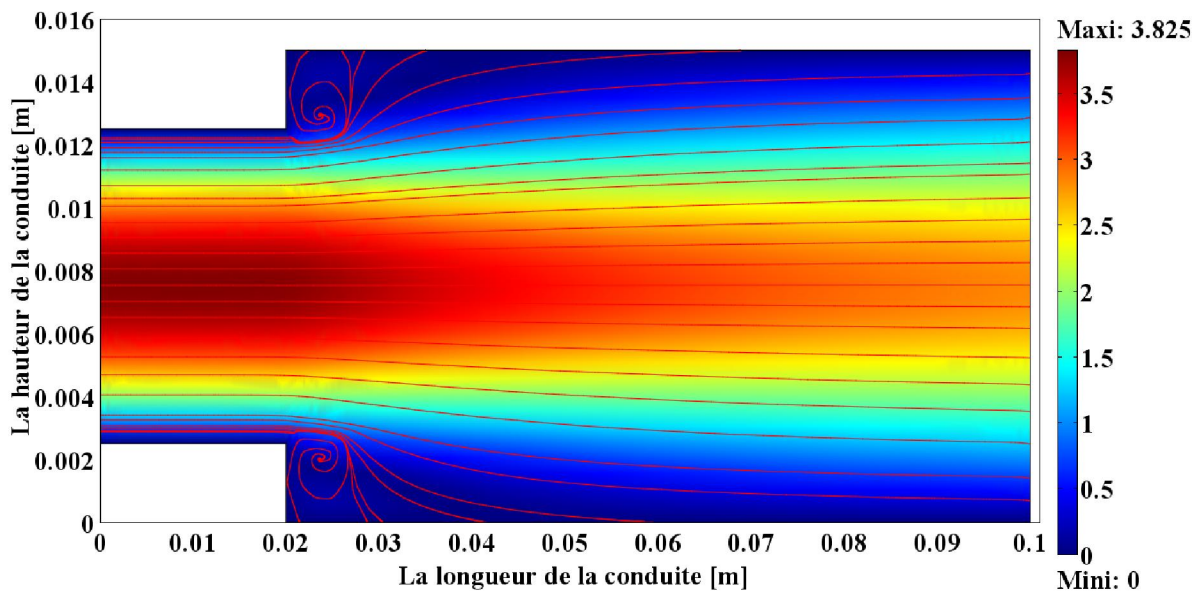


Figure III.19: Surface: Champ de vitesses [m/s] et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 150

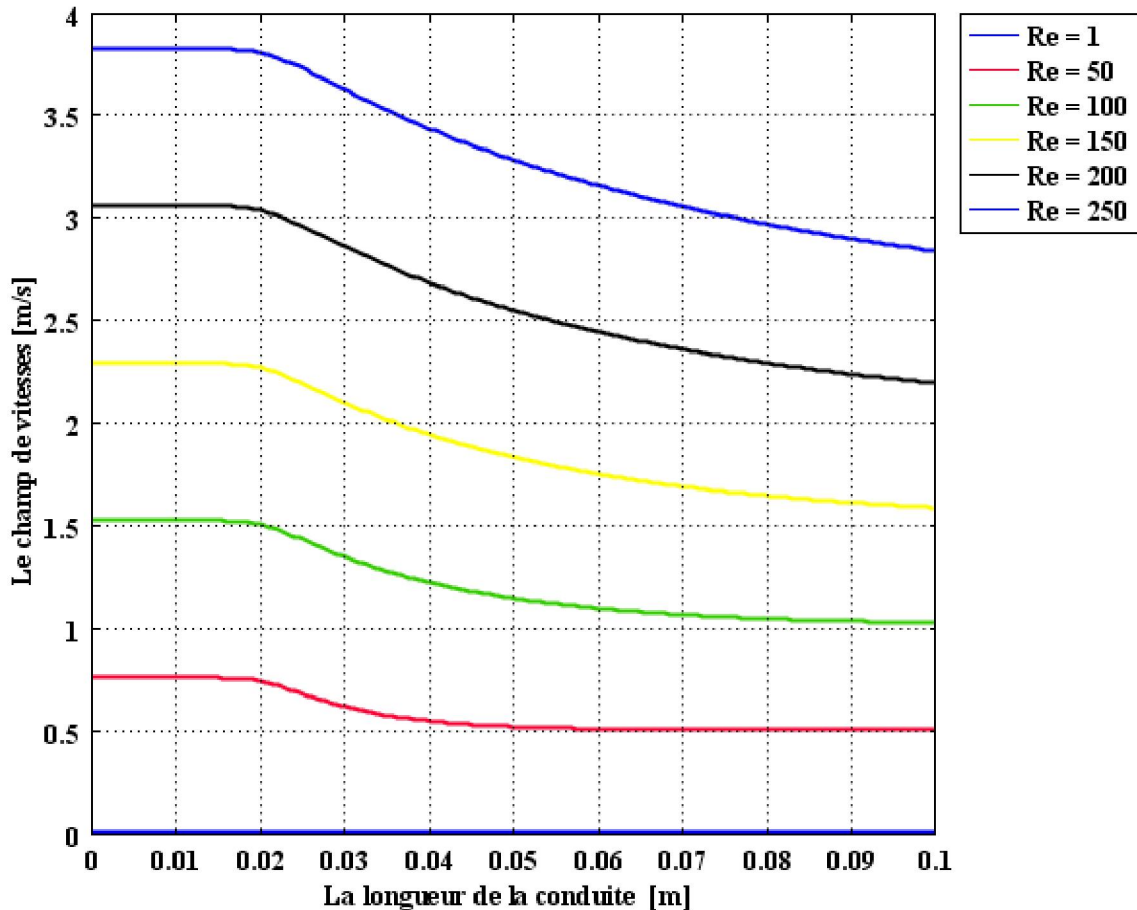


**Figure III.20: Surface: Champ de vitesses [m/s]  
et lignes de courant: Champ de vitesses pour un nombre de Reynolds = 250**

Le graphe suivant représente le champ de vitesses au centre de la conduite en fonction de la longueur de la conduite pour différents nombres de Reynolds et un rapport d'expansion de 1.5 pour le cas de l'huile.

Le graphe montre très bien l'augmentation du champ de vitesse quand le nombre de Reynolds augmente.

Et comme nous connaissons, D'après la loi de la conservation de débit dans les conduites, La vitesse diminue à cause de l'augmentation de la section de la conduite.



**Figure III.21: Le Champ de vitesses au centre de la conduite en fonction de la longueur de la conduite pour différents nombres de Reynolds et un rapport d'expansion de 1.5 pour le cas d'huile.**

Le graphe suivant représente l'évolution de la longueur de zone de recirculation en fonction du nombre de Reynolds pour tous les rapports d'expansion pour l'eau et l'huile au même temps.

La longueur de la zone de recirculation augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds pour tous les rapports d'expansion. Ces résultats sont confirmés par Chaing et al (1999) [2] et S. Djellouli, E.G. Filali, A. Bekhouche, S. Sisalah (2016) [9]

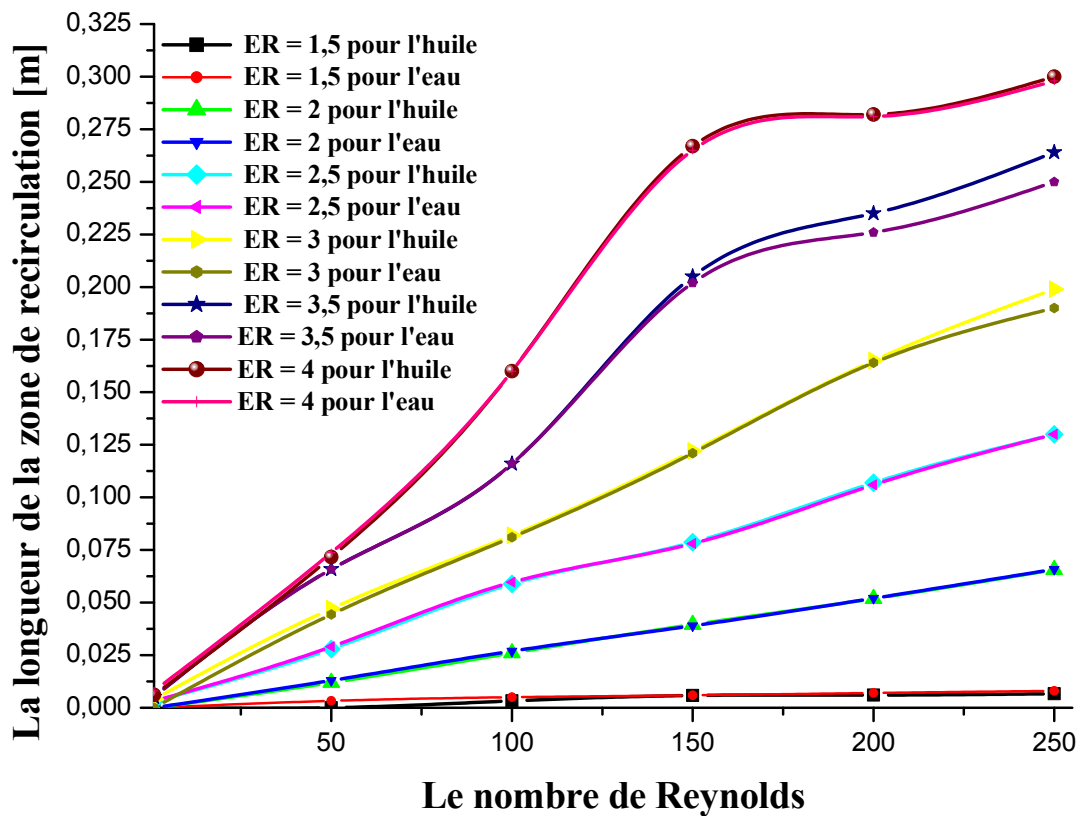


Figure III.22 : L'évolution de longueur de zone de recirculation en fonction de nombre de Reynolds pour tous les rapports d'expansion pour l'eau et l'huile

### Conclusion :

Pour le même nombre de Reynolds, Le volume de la zone de recirculation devient plus grand, Quand on augmente le rapport d'expansion.

La longueur de zone de recirculation augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

L'apparition de la zone de recirculation à partir de  $Re = 50$  dans le cas de l'eau et à partir de  $Re = 100$  dans le cas de l'huile.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

Plusieurs études expérimentales et appliquées ont été menées sur les conduites contenant l'élargissement brusque pour connaître et définir ses avantages afin d'en bénéficier dans le domaine industriel.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'écoulement à travers l'élargissement brusque, ses avantages et ses inconvénients. Et nous avons étudié par une simulation numérique un écoulement incompressible en régime permanent.

Nous avons observé une formation d'une zone de recirculation (zone de séparation) en aval de l'élargissement brusque, quelle est la principale cause des pertes de charges dans la conduite.

Pour voir l'influence du nombre de Reynold, rapport d'expansion et la nature du fluide (la viscosité et la masse volumique) sur l'écoulement et surtout sur cette zone de recirculation, nous avons étudié l'écoulement dans plusieurs points de ces grandeurs.

Nous avons conclu que l'augmentation de ces grandeurs provoque l'augmentation dans le volume de la zone de séparation, C'est ce qui a été mentionné dans le premier chapitre et confirmé par Hoareau (1996) [3] et S. Djellouli, E.G. Filali, A. Bekhouche, S. Si-Salah (2016) [9] pour l'influence du nombre de Reynold , et aussi par Y. Salhi, E.K. Si-Ahmed, J. Legrand, J.M Rosant (2011) [1] et R. Rezka et M. Khadja (2016) [8] pour l'influence du rapport d'expansion.

Nous avons aussi étudié l'influence de l'élargissement sur le champ de vitesses et nous avons constaté que pour chaque nombre de Reynolds, le champ de vitesses est constant sur la longueur de la marche en amont. Ce champ diminue lorsque la section de la conduite agrandit.

L'augmentation dans le volume de la zone de recirculation peut être considérée comme un avantage pour celui qui veut faire une détente ou séparer entre un liquide et un gaz, et aussi peut être considérée comme un inconvénient à cause de la grosse perte d'énergie.

Et pour tous ceux qui souhaitent étendre leur recherche, Nous vous suggérons de faire de la simulation numérique 3D et une recherche expérimentale.

## *Références bibliographiques*

## Références Bibliographiques

- [1] Y. Salhi, E.K. SI-Ahmed, J. Legrand, J.M Rosant. ‘Etude expérimentale de l’influence d’une singularité sur le régime d’écoulement diphasique gaz-liquide en conduite horizontale : cas de l’élargissement brusque’. Congrès français de mécanique. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc, 92400 Courbevoie, France (FR). (2011)
- [2] K.Boukerma. ‘Etude de l’écoulement laminaire accompagné du transfert de chaleur une conduite rectangulaire présentant un changement de section’’ élargissement brusque, Mémoire de Magister, Université Skikda . Mémoire de Magister, Université Skikda,(2007)
- [3] B.Fanou Z.Fagla et al. ‘Etude thermique expérimentale des suspensions non newtoniennes en écoulement dans une conduite horizontale à géométrie variable’’ . afrique science 10(4),(2014) pp. 1-22
- [4] T.Emmert, P.Lafon et C.Bailly. ‘Simulation aéroacoustique d’un écoulement transsonique dans un élargissement brusque’’. 18 ème Congrès Français de Mécanique Grenoble,(2007)
- [5] Md. Shahjahan Ali, T. Mahjabin and T.Hosoda.‘Simulation of dead zone flows in an open channel with secondary currents’ . Journal of Engineering Science 02(1&2) ,(2011),p 49-60
- [6] D. K. Mandal, S. Bandyopadhyay and S. Chakrabarti,‘A numerical study on the flow through a plane symmetric sudden expansion with a fence viewed as a diffuser’’. International Journal of Engineering, Science and Technology vol. 3, No. 8 ,(2011), p 210-233
- [7] S. Mushateta Khudheyer , A. Rishakb Qais and H. Fagr Mohsen. ‘Numerical study of laminar flow in a sudden expansion obstructed channel’’,Thermal Science.Vol. 19 Issue2.(2015) p657-668
- [8] M.Kadja, A. Zaatri, Z.Nemouchi, R.Bessaih, S.Benissaad and K. Talbi. ‘Ecoulement diphasique dans un élargissement brusque’’. Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution,(2016)

- [9] S.Djellouli,E. G. Filali, A. Bekhouche, S. Sisalah. ‘Modélisation numérique tridimensionnelle des effets d’échelle sur les aspects dynamique d’un écoulement de fluide monophasique dans un mini canal muni des singularités’ draria alger. (2016) .
- [10] P. Lobanov, M. Pakhom and V.Terekhov. ‘Experimental and Numerical Study of the Flow and Heat Transfer in a Bubbly Turbulent Flow in a Pipe with Sudden Expansion’ . Energies 12.14 : 2735. (2019)
- [11] L.Paraschivoiu,M.Prud'homme,L.Robillard,P.Vasseur. ‘mécanique des fluides’ . presses internationales Polytechnique. (2003).
- [12] V.Ranald Giles, B.Jack Evett, Cheng Liu, ‘mécanique des fluides et hydraulique’ Série Schaum 2<sup>ème</sup> Edition (2000)
- [13] ‘IFP. Training, grandeurs physiques’, Edition ENSPM Formation Industrie, (2005), P 9
- [14] R.Ben Hammouda. ‘Notions de mécanique des fluides cours et exercices corrigés’ . Centre de publication universitaire (2008), P 89
- [15] Y.marchesse. ‘Mécanique des fluides’ . ECAM-LYON(2019).
- [16] S. Amirouche, J. Luc Battalgia ‘Mécanique des fluides’ . DUNOD (2011).
- [17] Y A.Cengel, J M.Cimbala ‘Fluid Mechanics Fundamentals and Applications’ Mc Graw Hill Education Fourth Edition (2017)
- [18] J. Vazquez, ‘Cours Hydraulique générale MEPA’, (Laboratoire Systèmes Hydrauliques Urbains) ENGEES (2010)
- [19] H. Zambrano .G. Sigalotti, F. Peña-Polo, L. Trujillo, ‘Turbulent models of oil flow in a circular pipe with sudden enlargement’, Applied Mathematical Modelling,vol 39 Issue 21. (2015) P 6711-6724

