

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : ENERGETIQUE

PAR :

HANI NARIMANE

MERABTENE MOUNIA

Thème

Etude d'un écoulement diphasique stratifié à vague liquide-gaz dans un canal horizontal

Soutenu le 15/10/2020 devant le jury composé de:

Mr. Djemaa amar	Président
Mr. Nait bouda faiçal	Rapporteur
Mr. Ali agha Hamza	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur. F.Nait bouda, Maitre de conférences à l'Université de Bejaia, pour son encadrement, pour sa contribution, sa patience et son aide tout le long de ce travail.

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury.

Nous remercions tous les professeurs de département Génie Mécanique qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma très chère mère qui m'a soutenu durant toute ma vie.

A mon père qui m'a bien construit.

A mes frères et mes sœurs.

A toute ma famille.

A tous mes amis sans exception.

Mounia Narimane

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALEERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

Chapitre I : Etude bibliographique

I. INTRODUCTION	2
I.2 DEFINITION DE L'ÉCOULEMENT DIPHASIQUE	2
I.3 CONCEPT DE L'INTERFACE.....	2
I.4 LES SYSTEMES DIPHASIQUES DANS L'INDUSTRIE	3
I.5 CLASSIFICATION D'ÉCOULEMENT DIPHASIQUE	4
I.5.1 CLASSIFICATION BASEE SUR LES COMBINAISONS DES PHASES.	4
I.5.2 CLASSIFICATION BASEE SUR LA DISTRIBUTION DES INTERFACES	4
I.5.2.1 À PHASE DISPERSÉES.....	5
I.5.2.2 RÉGIME PLEINEMENT DISPERSÉ	5
I.5.2.3 RÉGIME DISPERSÉ-STRATIFIÉ	5
I.5.2.4 À PHASE SÉPARÉES	5
I.5.2.5 DE TRANSITION.....	6
I.6 LES RÉGIMES D'ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES	6
I.6.1 ÉCOULEMENT HORIZONTAL.....	6
I.6.2 ÉCOULEMENT VERTICAL.....	8
I.7 PRINCIPAUX PARAMÈTRES DES ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES	9
I.7.1 LA FRACTION DU VIDE	9
I.7.2 LES VITESSES	10
I.7.3 LE TAUX DE VIDE	11
I.7.4 LE TITRE :.....	11
I.7.5 NOTION DE TENSION DE SURFACE	11
I.8 SYNTHÈSE DE TRAVAUX ANTERIEURS RELATIFS A L'ÉCOULEMENT DIPHASIQUE	12

Chapitre II : Modélisation mathématique des écoulements
diphases

II.1 INTRODUCTION	16
II.2 LES MODELES D'ECOULEMENT	16
II.2.1 LE MODELE D'ECOULEMENT HOMOGENE	16
II.2.2 LE MODELE D'ECOULEMENT SEPRE	16
II.3 DISCRIPTION DU MODELE.....	16
II.3.1 EQUATION GENERALE.....	17
II.3.1.1 BILAN DE MASSE	17
II.3.1.2 EQUATION DE QUANTITE DE MOUVEMENT.....	17
II.3.2 RELATION CONSTITUTIVES.....	18
II.3.3 LES HYPOTHESES.....	19
II.4 FORMULATION DU PROBLEME ETUDIE.....	19
II.5 NOMBRE DE REYNOLDS.....	21
II.6 LES CONDITIONS AUX LIMITES.....	21
II.7 EQUATION DE LA TURBULENCE MODEL(K- ϵ).....	21

Chapitre III : Procédure numérique et résolution

III.1 PROCEDURES NUMERIQUE	22
III.1.1 INTRODUCTION	22
III.1.2 LA METHODE VOLUME DE FLUIDE VOF	22
III.1.3 LA GEOMETRIE	23
III.1.4 MAILLAGE	24
III.2 RESULTAT.....	24
III.2.1PROFILE DE VITESSE EN DIFFERENTES POSITION.....	24
III.2.2 VARIATION DE LA VITESSE A L'INTERFACE	31
III.2.3 LES LIGNES DE COURANT	32
III.6 CONCLUSION	33
III.6 CONCLUSION GENERAL	34
BIBLIOGRAPHIE	35

Table des figures

FIGURE I.1: ECOULEMENT A PHASE DISPERSEES.....	4
FIGURE I.2: ECOULEMENT A PHASES SEPREES.....	5
FIGURE I.3: ECOULEMENT DE TRANSITION.....	5
FIGURE I.4: REGIMES D'ECOULEMENT GAZ-LIQUIDE DANS UN TUBE HORIZONTAL.....	7
FIGURE I.5: REGIMES D'ECOULEMENT GAZ-LIQUIDE DANS UN TUBE VERTICAL.....	7
FIGURE I.6: SECTION TRANSVERSAL DE LA FRACTION DE VIDE.....	9
FIGURE I.7: REPRESENTATION DE L'INTERFACE.....	11
FIGURE I.18: PARTICULE FLUIDE SPHERIQUE.....	11
FIGURE III.1 : GEOMETRIE ETUDIE.....	23
FIGURE III.2: VALIDATION DU MAILLAGE.....	24
FIGURE III.3:LE MAILLAGE.....	24
FIGURE III.4: U(Y) POUR X=0.05.....	25
FIGURE III.5: V(Y) POUR X=0.05.....	25
FIGURE III.6: U(Y) POUR X=0.1.....	26
FIGURE III.7: V(Y) POUR X=0.1.....	26
FIGURE III.8: U(Y) POUR X=0.2.....	27
FIGURE III.9: V(Y) POUR X=0.2.....	27
FIGURE III.10: U(Y) POUR X'=0.05.....	28
FIGURE III.11: V(X) POUR X'=0.05.....	28
FIGURE III.12: U(Y) POUR X'=0.1.....	29
FIGURE III.13:V (Y) POUR X'=0.1.....	29
FIGURE III.14: U(Y) POUR X'=0.2.....	30
FIGURE III.15: V(Y) POUR X'=0.2.....	30
FIGURE III.16: U(X) A L'INTERFACE.....	31
FIGURE III.17: U(X) A L'INTERFACE.....	31
FIGURE III.18:LIGNE DE COURANT.....	32
FIGURE III.19: LIGNE DE COURANT.....	33

NOMENCLATURE

Symbole	Description	Unité
A	La section de conduite	m^2
A_l	Section de conduite occupée par le liquide	m^2
A_g	Section de conduite occupée par le gaz	m^2
f_l	Facteur de frottement de la phase liquide	-
f_g	Facteur de frottement de la phase gazeuse	-
f_I	Facteur de frottement a l'interface	-
g	La gravité	m/s^2
k	Énergie cinétique turbulent	
M_l	Débit massique de la phase liquide	Kg/s
M_g	Débit massique de la phase gazeuse	Kg/s
p	Pression	Pa
p_g	Pression de la phase gazeuse	Pa
p_l	Pression de la phase liquide	Pa
q_l	Débit volumique de la phase liquide	m^3/s
q_g	Débit volumique de la phase gazeuse	m^3/s
R	Rayon de courbure d'interface	m
Re	Nombre de Reynolds	
Re_l	Nombre de Reynolds de la phase liquide	
Re_g	Nombre de Reynolds de la phase gazeuse	
S_l	Périmètre de contact entre le liquide et la paroi	m
S_g	Périmètre de contact entre le gaz et la paroi	m
S_i	Périmètre de contact entre le gaz et le liquide	m
T	Tenseur de contrainte	N/m^2
T_l	Tenseur de contrainte de la phase liquide	N/m^2
T_g	Tenseur de contrainte de la phase gazeuse	N/m^2
U_l	Vitesse surfacique de la phase liquide	m/s
U_g	Vitesse surfacique de la phase gazeuse	m/s
U_{ls}	Vitesse superficielle de la phase liquide	m/s
U_{gs}	Vitesse superficielle de la phase gazeuse	m/s
V_k	Vitesse de chaque phase	m/s
w_l	Volume de la phase liquide	m^3
w_g	Volume de la phase gazeuse	m^3
X	Titre massique	-
X'	Titre volumique	-
α	La fraction du vide de chaque phase	-

Nomenclature

ρ_k	Masse volumique de chaque phase	Kg/m^3
ρ_l	Masse volumique de la phase liquide	Kg/m^3
ρ_g	Masse volumique de la phase gazeuse	Kg/m^3
τ	Tenseur des contraintes visqueuses	N/m^2
τ_l	Tenseur des contraintes visqueuses de la phase liquide	N/m^2
τ_g	Tenseur des contraintes visqueuses pour de la phase gazeuse	N/m^2
μ_l	Viscosité cinématique du liquide	m^2/s
μ_g	Viscosité cinématique du gaz	m^2/s
σ	Coefficient de tension de surface	N/m
ε	Taux dissipation de énergie cinétique turbulent	

Introduction General

Introduction General

Les écoulements diphasiques de mélange gaz-liquide peuvent être observés dans beaucoup de procédés industriels, tels que la liquéfaction du gaz, le transport par canalisation des produits pétroliers, le génie nucléaire...etc. l'exploitation de ces installations nécessite la prise en compte les conditions d'évolution des paramètres correspondant au comportement des phases en présence. Les industriels, ont développé pour cela, plusieurs codes de calculs, qui tiennent compte de chacun des procédés suscités.

Il existe dans la littérature plusieurs modèles d'écoulement diphasique de gaz et de liquide plus au moins adapté a chaque type d'écoulement. En effet ces derniers sont analysés afin d'écrire un modèle facile a résoudre. Pour cela la technique consiste généralement en une simplification des termes dont l'influence est plus au moins négligeable, selon le procédé.

L'objet de cette étude est de voir l'influence de la variation du nombre de Reynolds sur l'interface en partant des nombres très bas a des nombres plus élevés dans un régime laminaire. Pour cela on a opté pour une modélisation numérique par une méthode volum of fluid (VOF).

Dans le premier chapitre, on rappellera quelques définitions nécessaires à la compréhension des écoulements diphasiques. Après quoi, on présentera une synthèse de quelques travaux concernant les écoulements stratifiés gaz-liquide.

Dans le deuxième chapitre on présentera la modélisation théorique, et les méthodes d'analyse des écoulements diphasiques qui se basent sur les lois de la mécanique des fluides.

Le troisième chapitre sera consacré à la démarche à suivre pour la simulation numérique d'un écoulement diphasique stratifié gaz-liquide ainsi que l'interprétation des résultats obtenus numériquement.

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1 Introduction

L'écoulement diphasique étudie le déplacement de deux phases continues donc le cas le plus simple, après l'écoulement monophasique. Sur le plan physique et chimique les deux composants peuvent avoir des propriétés différentes, mais ils peuvent être de même nature (gaz-gaz, liquide-liquide). dans notre cas on s'intéresse à l'écoulement gaz liquide. Les systèmes diphasiques gaz-liquide occupent actuellement une place importante dans l'industrie, comme ils présentent une certaine complexité par rapport aux écoulements monophasiques à cause, d'une part, de la dynamique des interfaces (déformation, rupture, coalescence) qui varie d'une manière brusque, et d'autre part, de l'évolution de ces interfaces à des échelles très variées qui peuvent aller de quelques microns à quelques mètres.

Dans ce chapitre, on verra des généralités sur les écoulements diphasiques (domaine d'application et les différents régimes et cartes d'écoulement), ainsi que des travaux antérieurs relatifs aux écoulements diphasiques dans un canal horizontal.

I.2 Définition de l'écoulement diphasique

Écoulement présentant deux phases non miscibles ayant des caractéristiques dynamiques non identiques. Exemple : écoulement d'eau avec des bulles de gaz ou avec des particules de sédiment, écoulement de gaz avec des particules ou des gouttes de liquide.

I-3 Concept d'interface

Mathématiquement, l'*interface* est un objet de dimension N qui évolue dans un espace de dimension $N+1$. Physiquement, c'est une zone de faible épaisseur, où les grandeurs physiques subissent une discontinuité ou un saut. A l'échelle moléculaire, une interface liquide-gaz correspond à une zone de transition où la densité passe progressivement d'une valeur moyenne dans le liquide à une valeur moyenne dans le gaz. La taille de la zone de transition est de l'ordre de quelques libres parcours moyens des molécules. En général, on utilise cette notion d'interface pour évoquer la surface de séparation qui existe entre deux phases (au sens thermodynamique du terme). L'interface a alors pour origine la discontinuité des forces intermoléculaires entre les deux phases. Pour un mélange air - eau, la densité peut varier d'un facteur 1000 entre deux cellules de calcul adjacentes. Ce saut de densité, qui est présent aussi près des bulles d'air et des gouttelettes d'eau présente un défi de stabilité numérique, lors de la résolution des équations de l'écoulement due à la présence de la densité dans plusieurs termes des équations de Navier-Stokes. En effet, les phénomènes physiques

intervenant dans cette zone doivent être bien connus, pour prédire correctement les conditions de saut et la vitesse de propagation de l'interface.

I.4 Les systèmes diphasiques dans l'industrie

Les principaux domaines où les processus industriels ont suscité un développement important sont concernés par les écoulements diphasiques gaz-liquide. Le génie chimique et le génie de procédés qui vise à augmenter les surfaces d'échanges pour favoriser les réactions chimiques. En génie nucléaire les applications de cet écoulement sont d'une envergure importante, car pour prévoir le comportement des circuits de refroidissement des réacteurs nucléaires en fonctionnement nominal (en régime transitoire ou en évolution accidentelle), la connaissance approfondie de la thermo-hydraulique des écoulements diphasiques est nécessaire. Les écoulements diphasiques observés dans ces systèmes sont du type Eau-air comme dans les tours aéro-réfrigérantes et eau-vapeur dans les réacteurs nucléaires à eau bouillante.

En génie pétrolier, les écoulements gaz-liquide sont fréquemment rencontrés surtout dans l'exploitation des gisements. La configuration de cet écoulement qui est du type écoulement à poches. En exploitation naturelle, le pétrole est extrait sous l'effet de la pression exercée par le gaz sur le liquide, et en exploitation assistée on injecte du gaz sous pression dans la poche du gisement.

Dans d'autres nombreux secteurs industriels ces écoulements interviennent comme par exemple, les échangeurs à chaleur, machines frigorifiques ou les pompes de type gaz lift et même dans l'industrie automobile.

I.5 Classification d'écoulement diphasique

Les principales classes d'écoulement rencontrées dans la littérature peuvent être classifiées selon les combinaisons des phases ou selon la distribution des interfaces.

I.5.1 Classification basée sur les combinaisons des phases

Pour cette classification, les combinaisons possibles sont énumérées ci-dessous :

1. Mélange de deux liquides non miscible (échangeurs à contact direct)
2. Mélange solide-liquide (transport de boue, ...)
3. Mélange gaz-solide (transport pneumatique,...)
4. Mélange gaz-liquide (ébullition des les réacteurs nucléaires,...)

I.5.2 Classification basée sur la distribution des interfaces

Un écoulement diphasique peut être classifié selon la distribution géométrique des phases appelée régime ou configuration d'écoulement, qui sont identifiées par inspection ou par analyse spectrale des fluctuations de la fraction volumique ou des pressions instables. Les différents régimes d'écoulement ont été étudiés par plusieurs auteurs (WALLIS(1969), ISHII(1971), GOVIER et AZIZ(1972), etc...). Un résumé des configurations typiques d'écoulement est présenté Dans les figures suivantes:

I.5.2.1 À phase dispersées

Un ou les deux fluides sont présents sous forme de gouttes, dans toute ou partie de la section de la conduite, On distingue alors deux sous catégories voir (**Fig. I.1**).

I.5.2.2 Régime pleinement dispersé

Les gouttes sont présentes dans toute la Section de la conduite de façon plus ou moins homogène.

I.5.2.3 Régime dispersé-stratifié

Comprenant une zone dispersée plus ou moins dense et une ou deux couches continues Dans certains cas, ces régimes dispersés peuvent aussi s'écouler de façon annulaire.

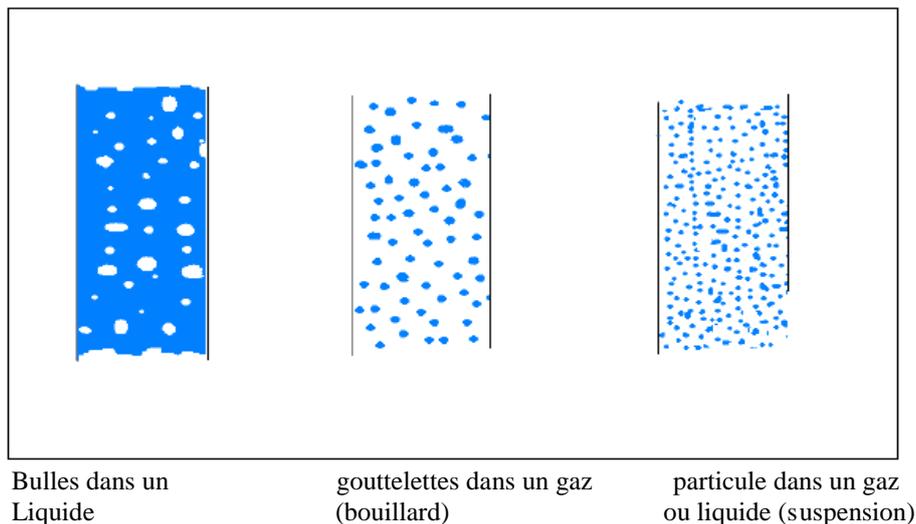


Fig. I.1: Écoulement à phases dispersées [1]

I.5.2.4 À phase séparées

Les fluides s'écoulent de façon stratifiée deux couches continues disposées selon leur densité et séparées par une interface plus ou moins perturbée. Un cas particulier est l'écoulement annulaire, composé de deux couches continues s'écoulant Concentriquement (Fig. I.2).

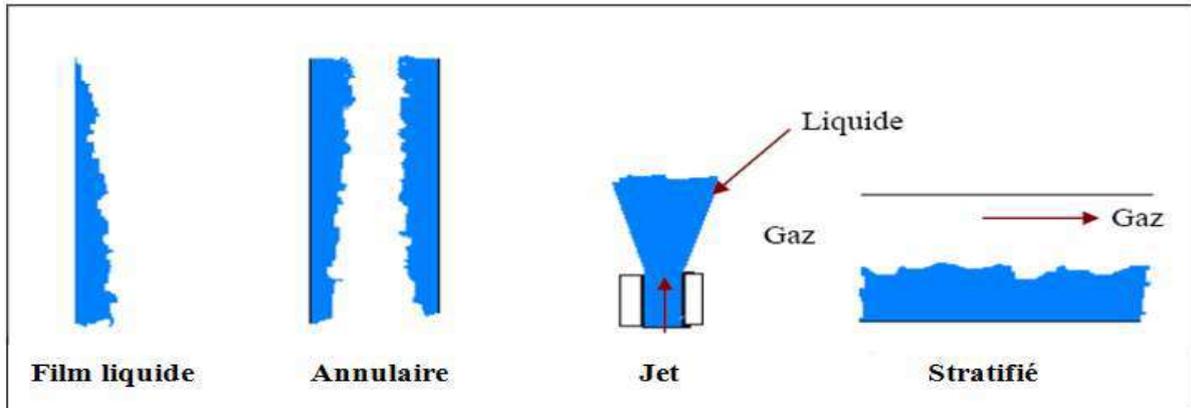


Fig. I.2: Ecoulement à phases séparées [1]

I.5.2.5 De transition

Les phases s'écoulent sous la forme de grandes poches, ou de bouchons. Ces régimes intermittents apparaissent en général lorsque les différences de masses volumiques des fluides sont faibles (Charles et Al. (1961), Arirachakaran et Al. (1989)). Voir (Fig. I.3).

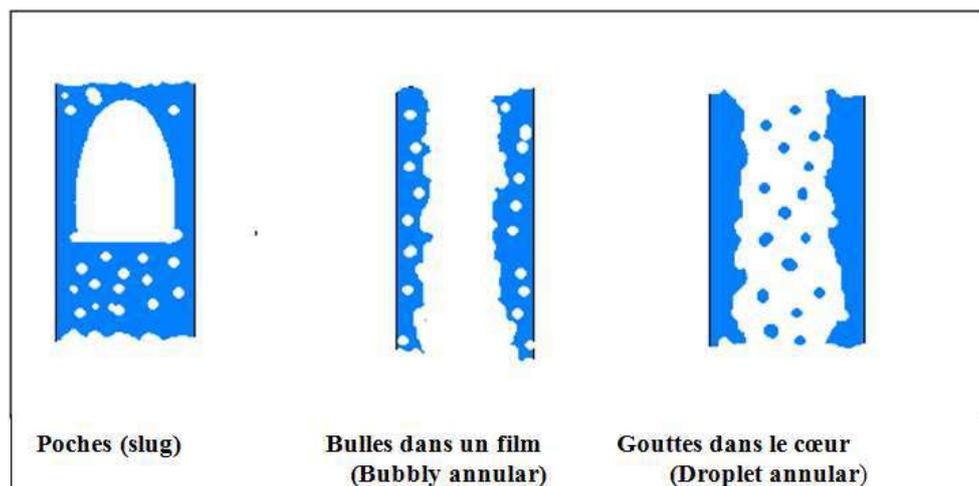


Fig. I.3: Écoulement de transition [1]

I.6 Les régimes d'écoulements diphasiques

Les régimes d'écoulements diphasiques gaz-liquide peuvent apparaître dans différentes configurations topologiques. Ces configurations sont basées sur la description d'interface ce qui appelle régime d'écoulements.

I.6.1 Ecoulement horizontal

Les descriptions suivantes sont basées sur les classifications généralement admises d'Alves (1954) , Baker (1954) , Govier et Omer (1962) ainsi que Mandhane et al (1974) pour un écoulement diphasique gaz liquide en conduite horizontale. (**Fig. I.6**):montre les types d'écoulement les plus courants.

A. L'écoulement à bulles (Bubbly flow)

Il s'agit tant comme le cas de l'écoulement vertical, de bulles dispersées dans la phase liquide, cependant la gravité a tendance à rassembler les bulles au sommet du tube.

B. L'écoulement à poches de gaz (Plug flow)

Cet écoulement, ainsi que l'écoulement à bouchons est intermittent. Les bulles de gaz sont plus grosses tandis que les poches de liquide contiennent de nombreuses petites bulles.

C. L'écoulement à bouchons (Slug flow)

Cette configuration est caractérisées par des bulles en forme d'ogives comme pour les écoulements verticaux, cependant les bulles se déplacent dans la partie supérieure du tube.

D. L'écoulement stratifié (Stratified flow)

Cette configuration obtenue pour de faibles débits gazeux et liquides. Le liquide s'écoule dans la partie inférieure du tube et le gaz dans la partie supérieure.

E. L'écoulement à vagues (Wavy flow)

Une augmentation de la vitesse de la phase gazeuse provoque l'apparition de vague à interface liquide-gaz

F. L'écoulement annulaire (Annular flow)

Cette configuration est identique à celle rencontrée pour les tubes verticaux. La gravité tend à rendre le film de liquide plus épais dans la partie inférieure du tube, phénomène qui disparaît lorsque la vitesse du gaz augmente. Voir (Fig. I.4)

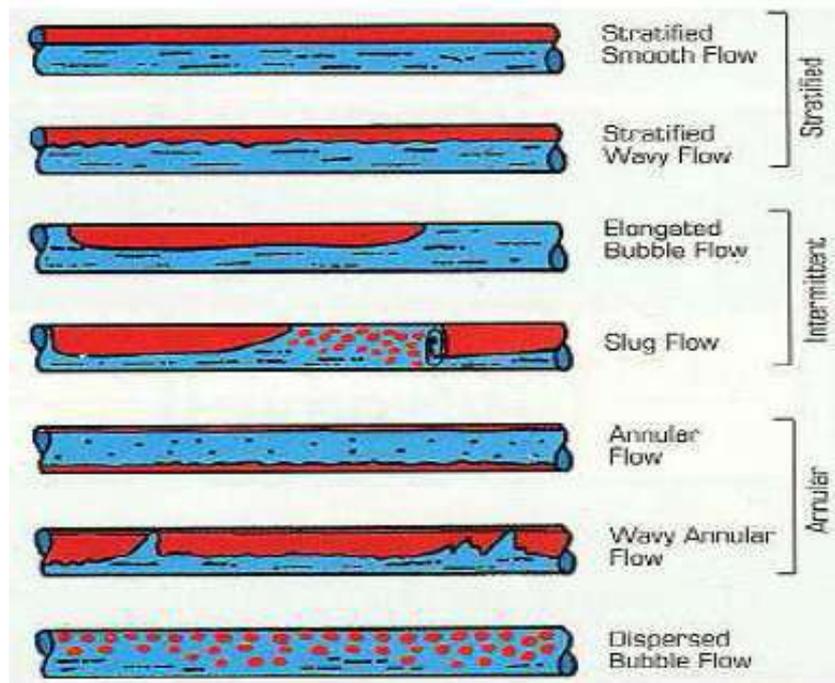


Fig. I.4: Régimes d'écoulement gaz-liquide dans un tube Horizontal [2]

I.6.2 Ecoulement vertical

Lors d'un écoulement diphasique eau-air interne ascendant ou descendant dans un tube vertical où la phase continue est le liquide, on distingue quatre configurations principales

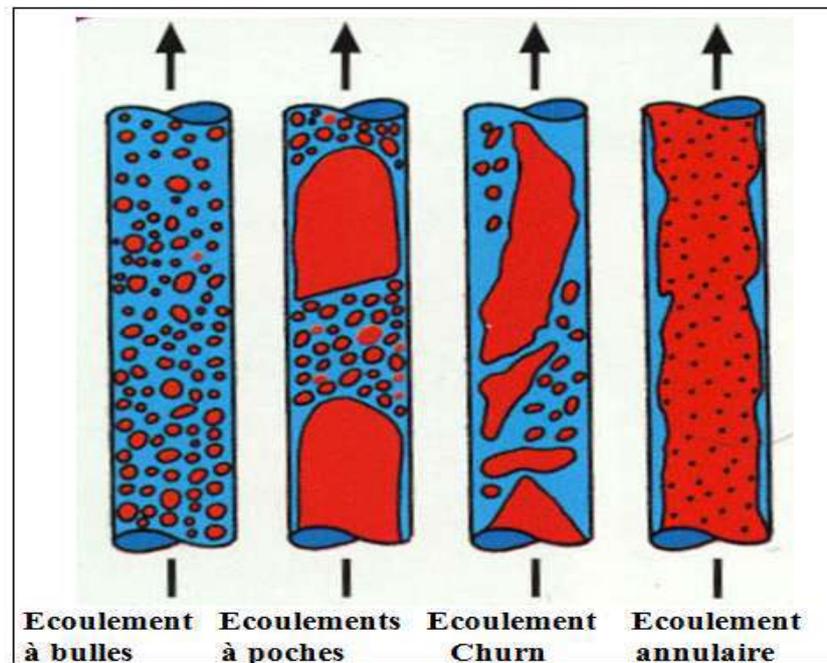


Fig. I.5: Régimes d'écoulement gaz-liquide dans un tube vertical [2]

a) L'écoulement à bulles (Bubbly flow)

En arrivant typiquement aux très hautes vitesses liquides et des vitesses basses du gaz ce régime est caractérisé par la présence des bulles rapides naissantes avec un diamètre égal au diamètre capillaire.

b) L'écoulement à poches ou écoulement de Taylor (Taylor flow)

Ce type est caractérisé par des poches du gaz avec des longueurs plus grandes que le diamètre du canal qui se déplace le long du tube, séparées l'une de l'autre par des bouchons liquides. Selon les débits du gaz et du liquide et des propriétés thermo physiques, les poches ont souvent des sommets hémisphériques, ces poches sont appelées : Bulles de Taylor.

c) L'écoulement Churn (Churn flow)

Cet écoulement est caractérisé par des très hautes vitesses du gaz et des très longues bulles du gaz avec des bouchons liquides relativement petits. En raison des vitesses élevées du gaz, le mouvement d'ondulation est souvent observé à la queue de bulle. Plus loin l'augmentation du débit du gaz aboutit au flux annulaire.

d) L'écoulement annulaire (Annular flow)

A des très hautes vitesses du gaz et vitesses très basses liquides résulte l'écoulement annulaire. Une phase continue du gaz est présente dans le cœur central du capillaire avec la phase liquide déplacée pour former un annulaire entre les parois du tube et la phase gazeuse.

I.7 Principaux paramètres des écoulements diphasiques

I.7.1 La fraction du vide

Afin de différencier les deux phases, on notera G comme indice pour les différentes conditions gazeuses et L pour la phase liquide. Considérons un canal avec un écoulement courant de deux phases. La section de passage de l'ensemble de cet écoulement est représentée par la surface A. La surface A_G représente la section de l'écoulement de la phase gazeuse seulement, et finalement A_L section de l'écoulement de la phase liquide. Le rapport de la surface d'écoulement du gaz et du liquide sur la surface totale de l'écoulement représente la fraction de vide souvent dénotée par α_G ou $(1 - \alpha_L)$. voir figure I.8

$$\alpha_g = \frac{A_g}{A} \quad (1.1)$$

$$\alpha_l = \frac{A_l}{A} \quad (1.2)$$

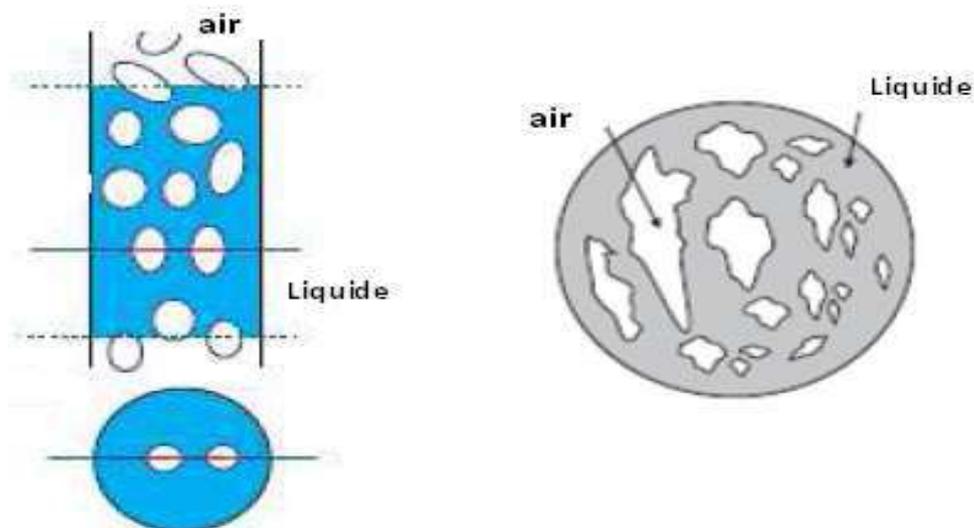


Fig.1.6 Section transversale de la fraction de vide [1]

I.7.2 Les vitesses

La vitesse superficielle représente le débit volumique d'une phase sur la surface totale :

$$u_{ls} = \frac{q_l}{A} \quad (1.3)$$

$$u_{gs} = \frac{q_g}{A} \quad (1.4)$$

Compte tenu de la définition du hold-up les vitesses locales du gaz et du liquide peuvent être exprimées en fonction des vitesses superficielles et des hold-up respectifs.

$$u_l = \frac{u_{ls}}{\alpha_l} \quad (1.5)$$

$$u_g = \frac{u_{gs}}{\alpha_g} = \frac{u_{gs}}{(1-\alpha_l)} \quad (1.6)$$

I.7.3 Le taux de vide

C'est le rapport du volume de gaz sur le volume total

$$a = \frac{w_g}{w_g + w_l} \quad (1.7)$$

I.7.4 Le titre

C'est le rapport du débit massique du gaz sur le débit massique du mélange

$$X = \frac{M_g}{M_g + M_l} \quad (1.8)$$

Où M_g et M_l sont respectivement le débit massique du gaz et liquide .Cette notion est utilisée dans le calculs des condenseurs par exemple .On utilise aussi le titre volumique tel que ;

$$X' = \frac{q_g}{q_g + q_l} \quad (1.9)$$

Où q_g et q_l est le débit volumique du gaz et liquide respectivement.

I.7.5 La tension de surface

La *tension de surface* est la tension qui existe à la surface de séparation de deux phases. On la définit comme la force qu'il faut appliquer à l'unité de longueur le long d'une ligne Perpendiculaire à la surface d'un liquide en équilibre pour provoquer l'extension de cette surface, ou comme le travail exercé par cette force par unité de surface. On peut formaliser cette propriété de la manière suivante : il existe une différence de pression entre le liquide et le gaz, égale à la courbure locale de la surface κ multipliée par un coefficient σ , appelé coefficient de tension de surface, dépendant des deux fluides en présence. La pression la plus forte règne dans le fluide dont la surface est convexe voir la figures I.7 et figure I.8.

$$p_{int} - p_{ext} = k\sigma \quad (1.10)$$

Cette équation s'appelle équation de Laplace, k est la courbure moyenne de la surface, c'est-à-dire la somme des deux courbures principales :

$$k = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1.11)$$

Ou R_1 et R_2 sont les rayons de courbure de l'interface dans deux plans orthogonaux.

Si la pression est uniforme à l'intérieur et à l'extérieur de la goutte, le saut de pression est constant sur la surface et, par conséquent, la courbure l'est. La force qui en résulte est orientée du gaz vers le liquide. Une tension de surface élevée implique une forte résistance au mélange.

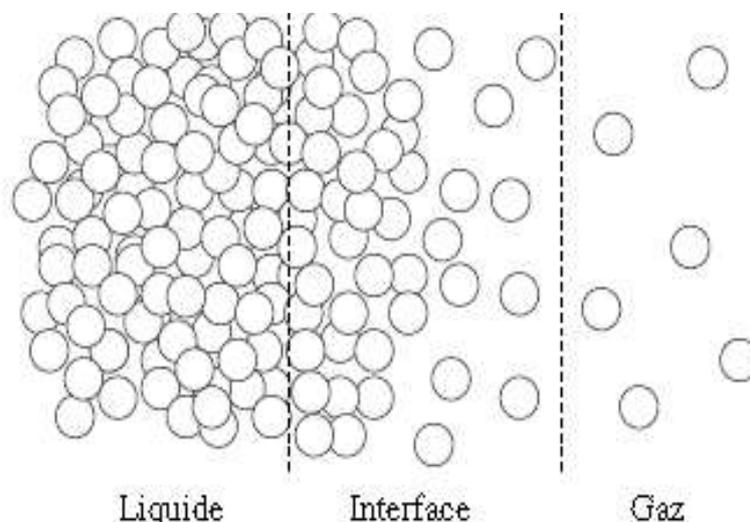


Figure I-7 : Représentation de l'interface

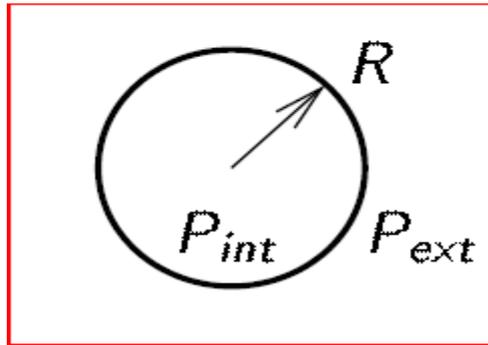


Figure I-8: Particule fluide sphérique

I.8 Synthèse de travaux antérieurs relatifs à l'écoulement diphasique

On rencontre souvent des flux ondulés stratifiés gaz-liquide dans les gazoducs de transport de gaz naturel. Même si les gazoducs de transport sont à l'origine alimentés en gaz naturel monophasé, des traces de condensat peuvent se former dans les gazoducs par condensation rétrograde à la suite d'une baisse de pression. Malgré de nombreuses recherches théoriques et expérimentales dans le flux des conduites gaz-liquide, seules quelques études sur la stratification diphasique des écoulements ondulés sont apparues dans la littérature de ces dernières années et le sujet n'a pas été suffisamment étudié. Dans ce qui suit, sans être exhaustif, nous évoquerons quelques travaux élaborés. Ces travaux nous servent de base de comparaison pour notre étude.

Seungtae et al (2014)

L'objectif principal de cette étude est d'étudier expérimentalement les caractéristiques d'écoulement diphasique en termes de condensation par contact direct d'un écoulement stratifié vapeur-eau dans un canal rectangulaire horizontal. Des expériences ont été effectuées pour les écoulements eau-air et eau-vapeur avec une configuration d'écoulement à co-courant. Ce travail présente les distributions locales de température et de vitesse dans une couche d'eau ainsi que les caractéristiques interfaciales des écoulements de fluides à condensation et sans condensation. [3]

Hadiyan et al (2015)

L'étude visait à déterminer les caractéristiques des ondes interfaciales de l'écoulement et à développer une base de données de haute qualité. Des séries expérimentales d'écoulements gaz-liquide stratifiés ont été effectuées dans un tuyau horizontal en acrylique transparent. La section longitudinale du tuyau a été utilisée comme section de référence pour l'enregistrement d'images. L'air et l'eau ont été utilisés comme fluides d'essai, le comportement d'écoulement a été enregistré en utilisant une caméra vidéo à grande vitesse. Pour corriger la réfraction due au tube acrylique, une boîte de correction a été utilisée dans la section de test de visualisation. L'ensemble d'écoulements diphasiques lisses et ondulés stratifiés ont été enregistrés avec succès et classés sur la base de l'étude de visualisation de 24 couples de conditions d'essai de vitesses superficielles d'eau et d'air. Une technique de traitement d'image numérique a ensuite été utilisée pour effectuer une analyse quantitative et les résultats ont été utilisés pour évaluer les données existantes.[4]

Byeonggeon et al (2019)

Une étude expérimentale des paramètres locaux des gouttelettes pour un écoulement ondulé stratifié horizontal atmosphérique a été menée dans un tuyau circulaire horizontal d'un diamètre intérieur de 40 mm et d'une longueur de 5,5 m. Les distributions locales de la fraction de gouttelettes, la vitesse, le diamètre et le flux massique des gouttelettes dans la section transversale du tuyau ont été mesurées à l'aide de sondes à fibre optique unique à quatre endroits. Le débit massique moyen des gouttelettes le long de la direction axiale du canal d'écoulement a également été obtenu à partir des paramètres des gouttelettes. La combinaison des modèles d'entraînement des gouttelettes et de taux de dépôt de Schimpf et al. a été évalué pour les débits massiques de gouttelettes obtenus à partir de cinq expériences différentes, y compris la présente expérience dans l'écoulement stratifié horizontal. [5].

Taehwan Ahn et al (2017)

Dans le cas de leur étude les paramètres des ondes interfaciales sont, la fréquence, la hauteur, la vitesse et la pente. Des expériences ont été menées avec un capteur de conductance à fil parallèle et une visualisation PIV dans un canal rectangulaire. Les conditions d'écoulement couvraient la plage du nombre de Reynolds liquide Re_l de 450 à 3540 et la plage du nombre de Reynolds du gaz Re_g de 14000 à 70000. Les résultats ont révélé que les types d'ondes observés selon les conditions d'écoulement dans le canal rectangulaire sont similaires à celles d'un tuyau horizontal. La fréquence, la hauteur et la pente de l'onde

interfaciale montrent des tendances compliquées selon la combinaison de Re_g et Re_l , ce qui affecte la coalescence et l'éclatement de l'onde. Plus précisément, la hauteur et la pente des vagues ont des tendances opposées par rapport au critère de $Re_g = 34000$. Pour les cas où $Re_g \geq 34000$, la force de traînée interfaciale affecte significativement la hauteur et la pente de l'onde de perturbation. En revanche, pour $Re_g < 34000$, la croissance de la vague a un effet important sur les paramètres de la vague. [6].

Chapitre II

Modélisation mathématique des écoulements diphasiques

II-1 Introduction

Le calcul d'écoulement diphasique (y compris en régime transitoire) est nécessaire pour l'évaluation des performances mettant en jeu de tels écoulements. C'est notamment le cas lorsqu'on étudie la sûreté d'installation nucléaire, transports des hydrocarbures, le génie chimique ...etc.

Les équations décrivent les écoulements diphasique gaz-liquide sont établie classiquement : les bilans de masse, de quantité de mouvement pour un volume de contrôle constitué de deux sous volumes appartenant respectivement aux phases gazeuse et liquides, l'application du théorème de gausse conduit aux équations locales instantanée : deux équations de bilan pour chaque phase et pour l'interface relative à la masse et à la quantité de mouvement.

II-2 Les modèles d'écoulement

Un certain nombre de modèles ont été proposés pour calculer les différents paramètres dans les écoulements diphasiques, ces modèles fournissent une représentation précise des régimes d'écoulement. Les modèles les plus utilisés sont le modèle homogène et le modèle d'écoulement séparé.

II-2-1 Le modèle d'écoulement homogène

L'hypothèse centrale du modèle d'écoulement homogène est que les deux phases gaz et le liquide se déplacent avec les mêmes vitesses et se mélangent bien ; par conséquent, ils peuvent être traités comme s'il y a une seule phase. Ce modèle fonctionne mieux près du point critique du mélange, où les différences entre les propriétés du liquide et très élevé, de sorte que le régime d'écoulement est celui à bulles ou avec brouillard.

II-2-2 Le modèle d'écoulement séparé

Par rapport au modèle homogène, le modèle d'écoulement séparé a été utilisé plus largement, car il fournit une meilleure prédiction du comportement de l'écoulement avec un niveau de complexité gérable. Le modèle d'écoulement séparé suppose que chaque phase montre des propriétés différentes et s'écoule à des vitesses différentes

II.3 Description du problème

Dans ce travail on présente une étude numérique des caractéristiques dynamiques d'un écoulement diphasique liquide-gaz en régime turbulent dans une conduite rectangulaire de longueur $L=200\text{mm}$ et d'une hauteur $H=10\text{mm}$ (voir figure ..., page...). L'analyse de l'écoulement est effectuée pour différents nombre de Reynolds en utilisant des logiciels CFD.

II.3.1 Equation générale

Tout le long de ce travail nous allons considérer que le domaine physique est représenté par le système de coordonnées cartésiennes $(x_1, 2,3=x, y, z)$

Les équations générales de bilans de masse et de quantité de mouvement pour un modèle physique s'écrivent :

II.3.1.1 Bilan de masse

Afin d'analyser l'évolution des paramètres dans le temps et en chaque point de la conduite, une écriture sous forme moyennée est préconisée.

$$\frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}_k}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}_k}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.1})$$

II.3.1.2 Bilan de quantité de mouvement

La loi fondamentale de la dynamique appliquée à un domaine matériel que nous suivons dans son mouvement, exprime que la dérivée particulaire du tenseur de quantité de mouvement est égale au tenseur des forces extérieures appliquées à ce domaine

$$\frac{d}{dt} \iiint \rho_k \bar{V}_k dv = \iiint \rho_k \bar{f} dV + \iint T \cdot \bar{n}_k ds + \int_{c(t)} \sigma \bar{n}_i dl \quad (\text{II.2})$$

Avec : 2

$$T = -pI + \tau \quad (\text{II.3})$$

Tel que :

σ : Tension de surface

n : Vecteur normale unitaire

τ : Tenseur des contraintes visqueuses

Le théorème de Gauss appliqué à l'intégrale de contour s'écrit :

II-3.2 Relation constitutives

Les relations des contraintes sont calculées de manière conventionnelle en fonction des vitesses locales.

$$\tau_g = f_g \frac{\rho_g u_g^2}{2} \quad (\text{II.4})$$

$$\tau_l = f_l \frac{\rho_l u_l^2}{2} \quad (\text{II.5})$$

Les facteurs de frottement de chaque phase sont donnés par la relation suivante :

$$f = CR_e^{-n} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

C=0.046, et n=0.2 pour un régime turbulent

C=16, et n=1 pour un régime laminaire

Le facteur de frottement à l'interface gaz-liquide est :

$$f_i = 0.005 \left(1 + 75 \frac{A_l}{A} \right) \quad (\text{II.7})$$

II.3.3 Les hypothèses

Pour qu'on puisse résoudre cette simulation numérique il faut imposer certaines hypothèses, ci-dessous :

- Les masses volumiques $\rho_l = \text{constant}$ et $\rho_g = \text{constant}$ donc les deux fluides sont incompressibles, $\text{div}\vec{V} = 0$
- Les deux fluides sont considérés des fluides Newtonien

$$\mu_l = \text{constant} \text{ et } \mu_g = \text{constant}.$$

- Ecoulement turbulent
- Ecoulement permanent $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
- Ecoulement deux dimension $\frac{\partial}{\partial z} = 0$ et w=0
- Ecoulement isotherme T=constant
- Ecoulement sans transfert de masse

II.4 Formulation du problème étudié

En tenant compte de ces hypothèses, les équations de transport du modèle choisi, dans un repère fixe sont :

L'équation de continuité :

❖ **Pour la phase liquide :**

$$\frac{\partial \bar{u}_l}{\partial x} + \frac{\partial \bar{y}_l}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.8})$$

❖ **Pour la phase gazeuse :**

$$\frac{\partial \bar{u}_g}{\partial x} + \frac{\partial \bar{y}_g}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.9})$$

Equation de quantité de mouvement :

❖ **Pour la phase liquide :**

Selon OX :

$$\begin{aligned} \rho_l \left[\bar{u}_l \frac{\partial \bar{u}_l}{\partial x} + \bar{V}_l \frac{\partial \bar{u}_l}{\partial y} \right] = & -\frac{\partial \bar{p}_l}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu_l + \mu_{lt}) \left(2 \frac{\partial \bar{u}_l}{\partial x} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu_l + \mu_{lt}) \left(\frac{\partial \bar{u}_l}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}_l}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{II.10})$$

Selon OY :

$$\begin{aligned} \rho_l \left[\bar{u}_l \frac{\partial \bar{V}_l}{\partial x} + \bar{V}_l \frac{\partial \bar{V}_l}{\partial y} \right] = & -\frac{\partial \bar{p}_l}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu_l + \mu_{lt}) \left(2 \frac{\partial \bar{V}_l}{\partial y} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu_l + \mu_{lt}) \left(\frac{\partial \bar{u}_l}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}_l}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{II.11})$$

❖ Pour la phase gazeuse :

Selon OX :

$$\rho_g \left[\overline{u_g} \frac{\partial \overline{u_g}}{\partial x} + \overline{V_g} \frac{\partial \overline{u_g}}{\partial y} \right] = -\frac{\partial \overline{p_g}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu_g + \mu_{gt}) \left(2 \frac{\partial \overline{u_g}}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu_g + \mu_{gt}) \left(\frac{\partial \overline{u_g}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{V_g}}{\partial x} \right) \right] \quad (\text{II.12})$$

Selon OY :

$$\rho_g \left[\overline{u_g} \frac{\partial \overline{V_g}}{\partial x} + \overline{V_g} \frac{\partial \overline{V_g}}{\partial y} \right] = -\frac{\partial \overline{p_g}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu_g + \mu_{gt}) \left(2 \frac{\partial \overline{V_g}}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu_g + \mu_{gt}) \left(\frac{\partial \overline{u_g}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{V_g}}{\partial x} \right) \right] \quad (\text{II.13})$$

II.5 Nombre de Reynold

Le nombre de Reynolds permet de définir le régime d'un écoulement, c'est à dire s'il est laminaire ou turbulent. Il est défini comme le rapport entre les forces d'inerties (convection) et les forces visqueuses et s'écrit comme suit :

$$R_e = \frac{V.D.\rho}{\mu} \quad (\text{II.14})$$

II.6 Les conditions aux limites

Pour obtenir une solution unique il est nécessaire de définir les conditions aux limites :

1. Entrée : une vitesse constante du gaz et du liquide est imposée suivant l'axe horizontal $U_k = U_0$
2. Sortie : les conditions de sortie sont imposées $P_l=0$ et $P_g=101300$ pa
3. Paroi : la condition de non glissement est imposé pour toute les parois $U=V=0$

II.7 Équation de la turbulence model (k-ε)

Ce modèle de transport des contraintes de Reynolds a été implémenté dans les codes de CFD logiciel, on a plusieurs modes de turbulence (modèle à une équation, modèle à deux équations exemple k- ϵ et k- ω , modèle à cinq équations). Dans notre travail, nous avons utilisé le model k- ϵ Réalisable à deux équations. Ce modèle s'écrit comme suite :

Équation pour l'énergie cinématique de turbulence k:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho V \frac{\partial k}{\partial y} = \tau_{x,y} \frac{\partial u}{\partial y} - \rho \cdot \epsilon + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] \quad (\text{II.15})$$

Équation pour la dissipation d'énergie cinématique de turbulence ϵ

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \tau_{x,y} \frac{\partial u}{\partial y} - C_{\epsilon 2} \cdot \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma \epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] \quad (\text{II.16})$$

La viscosité dynamique turbulente :

$$\mu_t = \rho \cdot C_\mu \cdot k^2 / \epsilon \quad (\text{II.17})$$

Les constantes pour le modèle :

$$C_{\epsilon 1} = 1.44 \quad C_{\epsilon 2} = 1.9 \quad C_\mu = 0.09 \quad \sigma k = 1 \quad \sigma \epsilon = 1.3$$

Chapitre III

Procédure numérique et résolution

III.1 Procédures numérique

III.1.1 Introduction

Il existe deux techniques permettant de caractériser un écoulement qui sont disponibles pour simuler des écoulements diphasiques : la description lagrangienne et la description eulérienne.

La première concerne les écoulements dans lesquels la seconde phase n'occupe qu'une faible fraction volumique. La seconde, Celle que nous allons utiliser dans ce travail, c'est la description eulérienne. Elle décrit le champs de vitesses qui associe à chaque point un vecteur vitesse. Pour modéliser les écoulements diphasique stratifié, fluent inclut un modele "Volume of fluid" VOF qui est adapté à la simulation des interface.

III.1.2 La méthode volume de fluide VOF :

La méthode VOF (*Volume Of Fluid*) introduite par Nicholas et Hirt, spécialement conçue pour la simulation d'écoulements diphasiques, est basée sur le principe de conservation de la masse. La distribution de fraction volumique de liquide (ou gaz) est répartie dans le domaine de calcul sur un maillage fixe, puis elle est transportée par le champ de vitesse. La méthode comptabilise la fraction d'une phase prise comme référence dans chaque cellule du maillage.

La fraction ou Volume de Fluide est propagée implicitement de proche en proche.

Les techniques VOF ont connu un développement intense, en parallèle avec le développement rapide des méthodes de simulation des écoulements avec interfaces, incluant des méthodes de frontières immergées (ou marqueurs) et des méthodes de ligne de niveau ou (Level set). L'amélioration des méthodes VOF est toujours une direction de recherche active. Les perspectives récentes concernent la mise en œuvre de méthode VOF de haute précision dans un cadre de maillage adaptatif.

Les méthodes VOF sont populaires et ils ont été utilisés dans plusieurs codes commerciaux. Cet avantage de conservation de masse et souvent accompagné par la création des bulles (ou gouttes) parasites car le calcul des quantités géométriques (la courbure et la normal à l'interface) sont obtenus via la dérivation d'une fonction discontinue (fraction volumique) [10]. Ainsi, un ordre élevé de précision est difficile à atteindre à cause de cette discontinuité, lorsque l'on souhaite décrire des structures d'interface dont l'épaisseur est de l'ordre de la maille de calcul. Le phénomène de courants parasites survient lorsque des problèmes à fort saut de masse volumique sont étudiés. Ces courants parasites, qui peuvent empêcher la

réalisation d'un calcul où les sauts sont trop raides, ont l'inconvénient de ne pas diminuer lorsque l'on raffine le maillage. De plus, pour des simulations tridimensionnelles, le formalisme devient plus complexe et plus coûteux, car il est nécessaire d'effectuer une reconstruction de l'interface à partir du champ de fraction massique. Une synthèse sur les méthodes VOF se trouve dans [8, 9, 10].

L'algorithme de la méthode VOF se résume en une [11, 12] :

- détermination d'une fonction "couleur" α définie tel que :

$\alpha = 1$ on a seulement la présence de la phase 1,

$\alpha = 0$ on a seulement la présence de la phase 2,

$0 < \alpha < 1$ on a la présence de l'interface.

- résolution de l'équation de transport. La fraction α est gouvernée par l'équation d'advection suivante :

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (ua) = 0$$

III.1.3 La géométrie

Nous présentons sur la figure III.1, la configuration de la géométrie utilisée dans notre étude numérique. L'écoulement se fait entre 2 plaques infinies de longueur $L=200$ mm et de hauteur de $H=10$ mm. On fixe la hauteur d'entrée du liquide et celle du gaz.

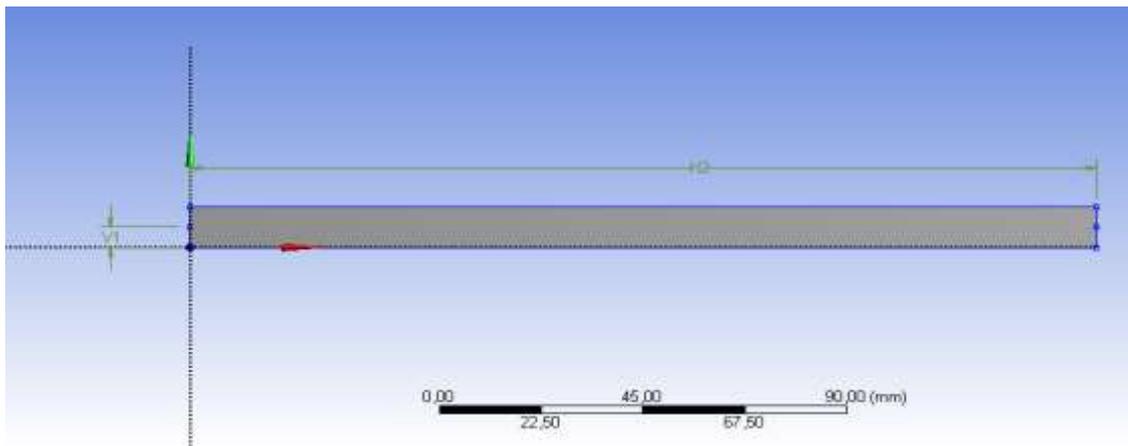


Figure III.1 : Géométrie étudié

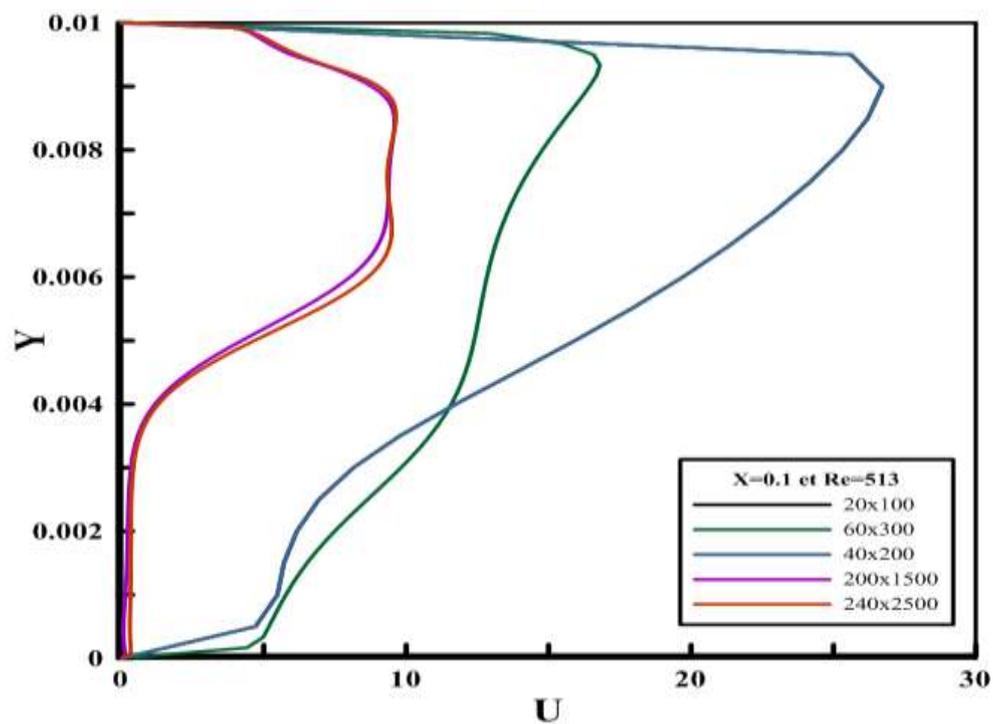


Figure III.3: validation du maillage

III.1.4 Maillage

L'opération de maillage est très importante, la précision des calculs dépend de la qualité de maillage. Un nombre de mailles insuffisant fera diverger le calcul. On a choisi de faire un maillage rectangulaire (200x1500) qui paraît suffisant.

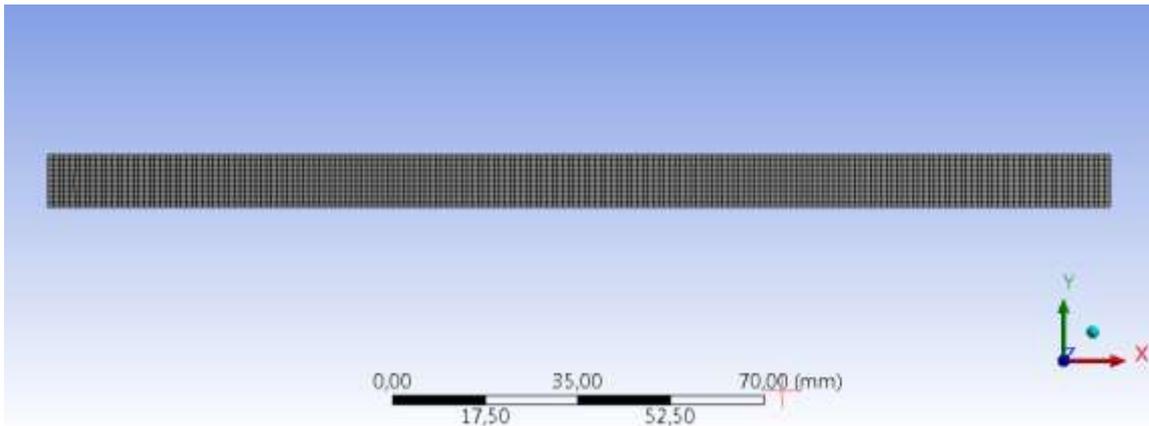


Figure III.2: Le maillage

Le maillage a été effectué à l'aide du générateur de maillage de Fluent nommé Gambit. Nous optons pour des formes de mailles rectangulaires.

III.2 Résultats

Afin d'examiner l'évolution de l'écoulement diphasique stratifié le long du canal on impose une vitesse d'entrée de liquide. On choisit deux cas différents relatifs aux vitesses d'entrée du liquide dont la plage de Reynolds est entre 513 et 1924 [13] ($U=0.1025\text{m/s}$ et $U=0.3861\text{m/s}$ pour une vitesse de gaz nulle). Les résultats obtenus selon les différentes positions de la conduite sont présentés comme suit :

❖ Premier cas: Pour $U_l = 0.1025 \text{ m/s}$ et $U_g = 0\text{m/s}$; et $Re_l=513$

III.2.1 Profils de vitesse en différentes positions

$X=0.05$

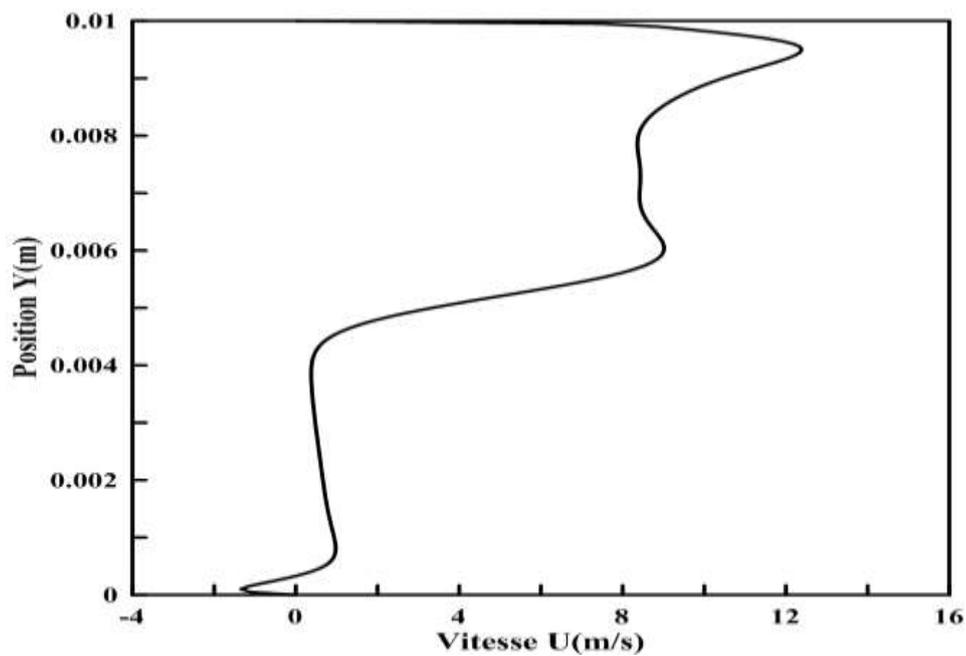


Figure III.4: $U(y)$ pour $X=0.05$

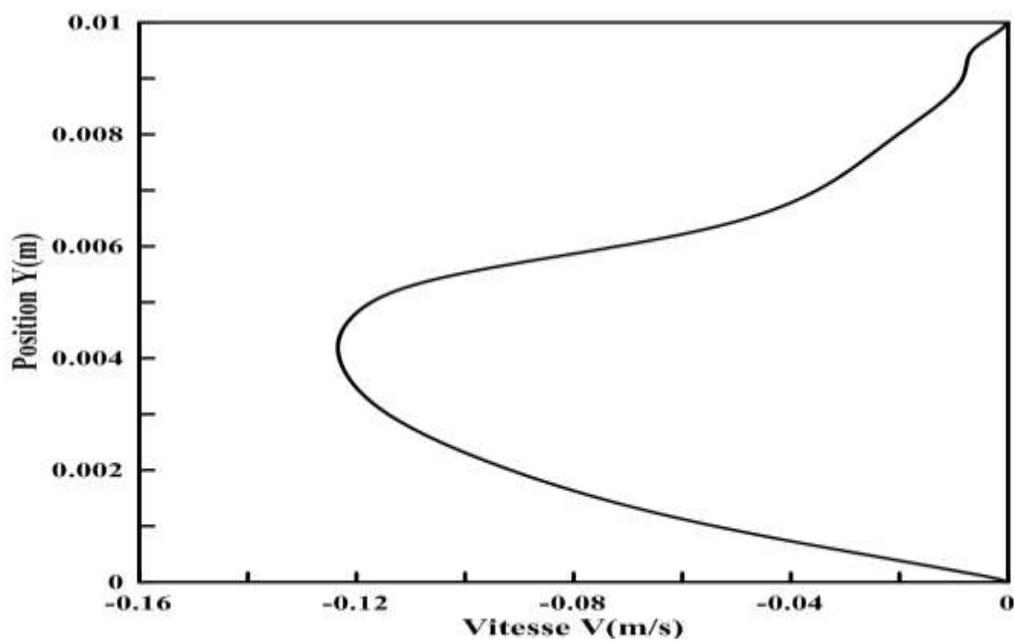
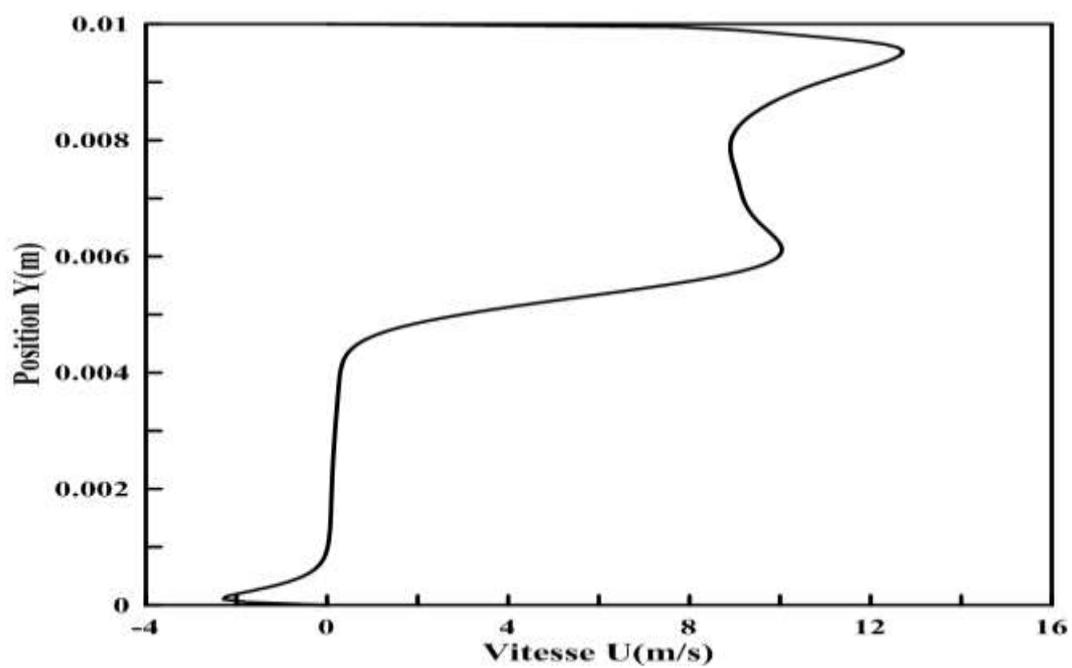
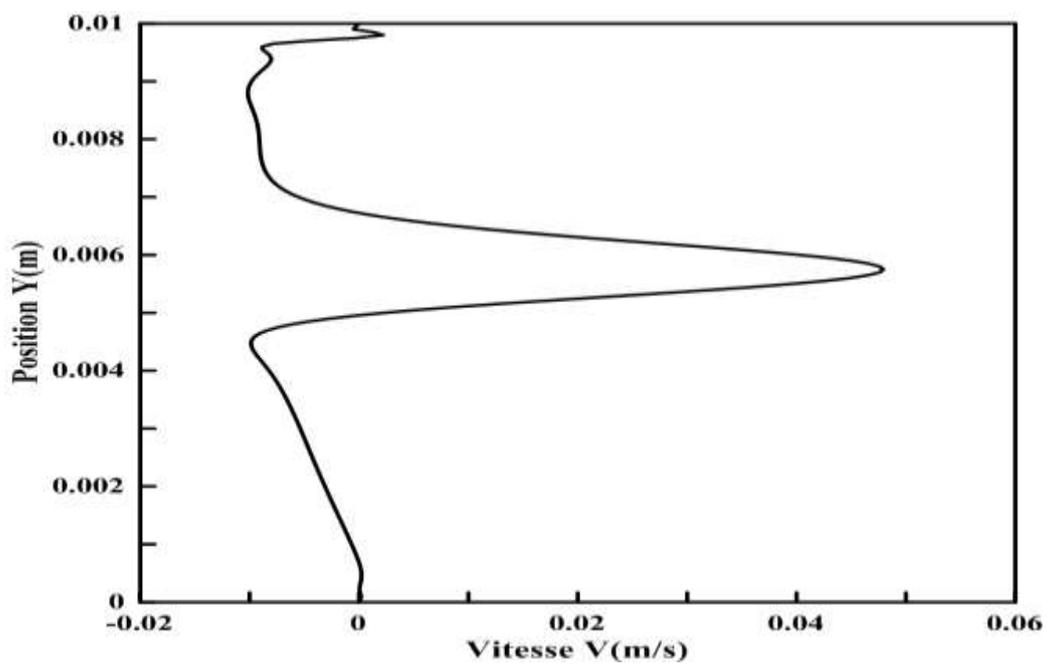


Figure III.5: $V(y)$ pour $X=0.05$

$X=0.1$

Figure III.6: $U(y)$ pour $X=0.1$ Figure III.7: $V(y)$ pour $X=0.1$

X=0.2

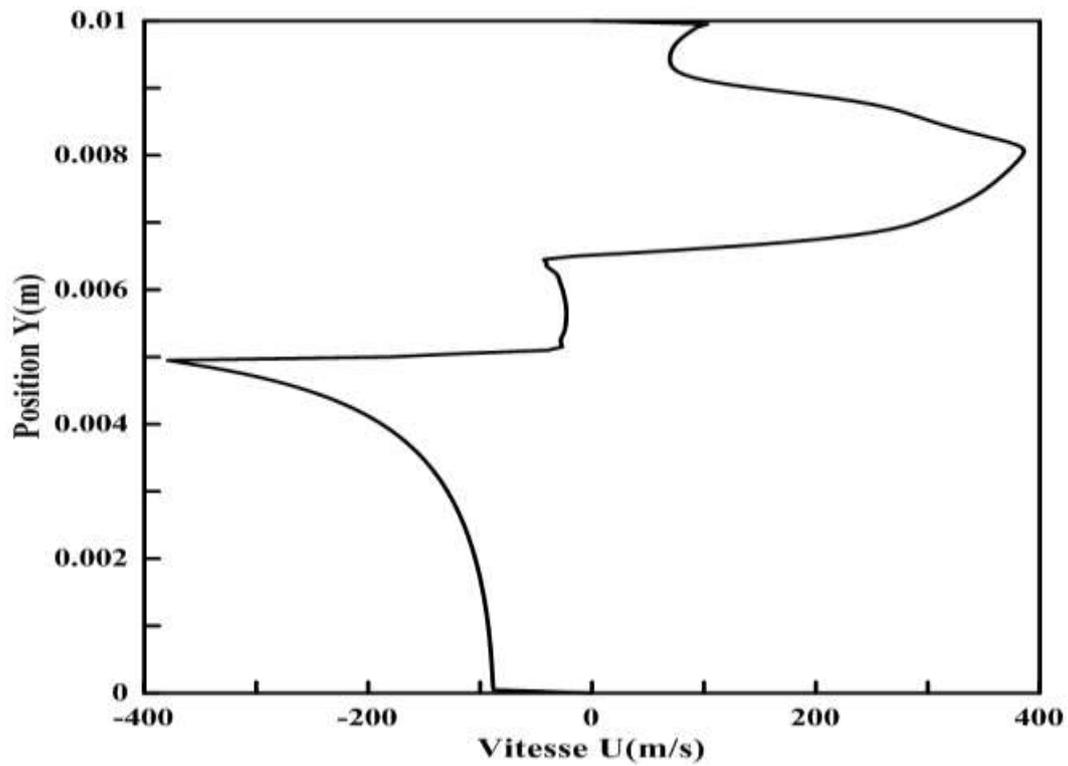


Figure III.8: U(y) pour X=0.2

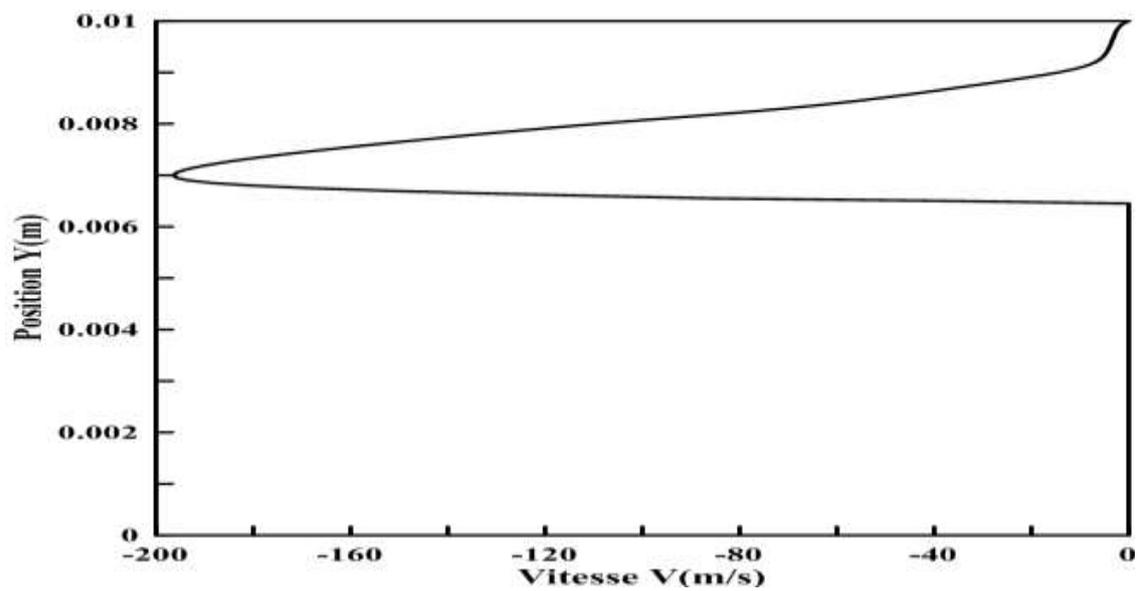
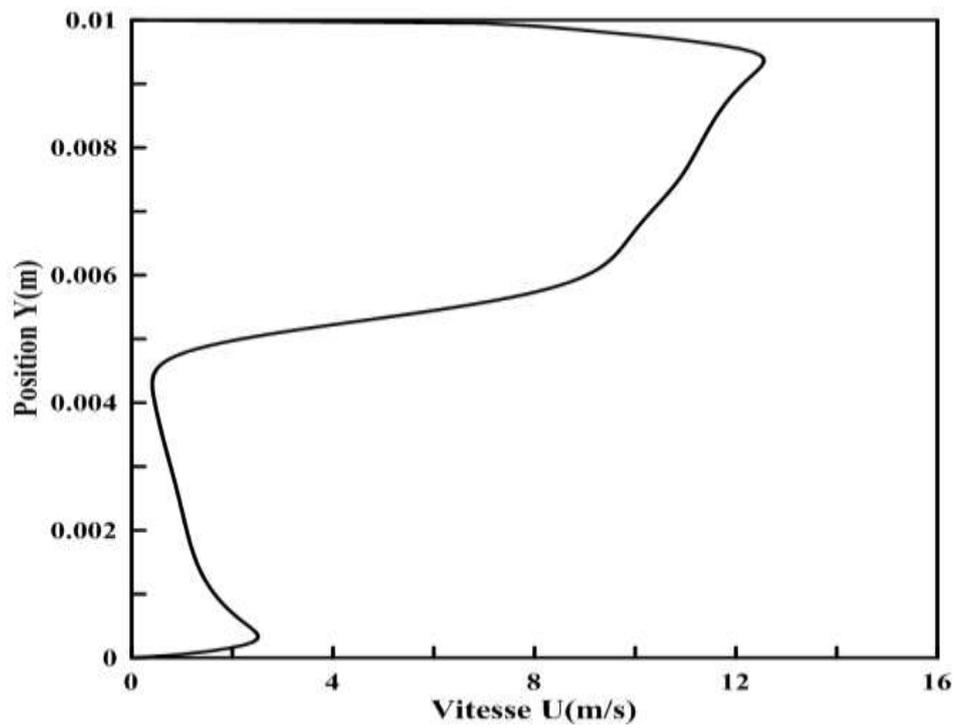
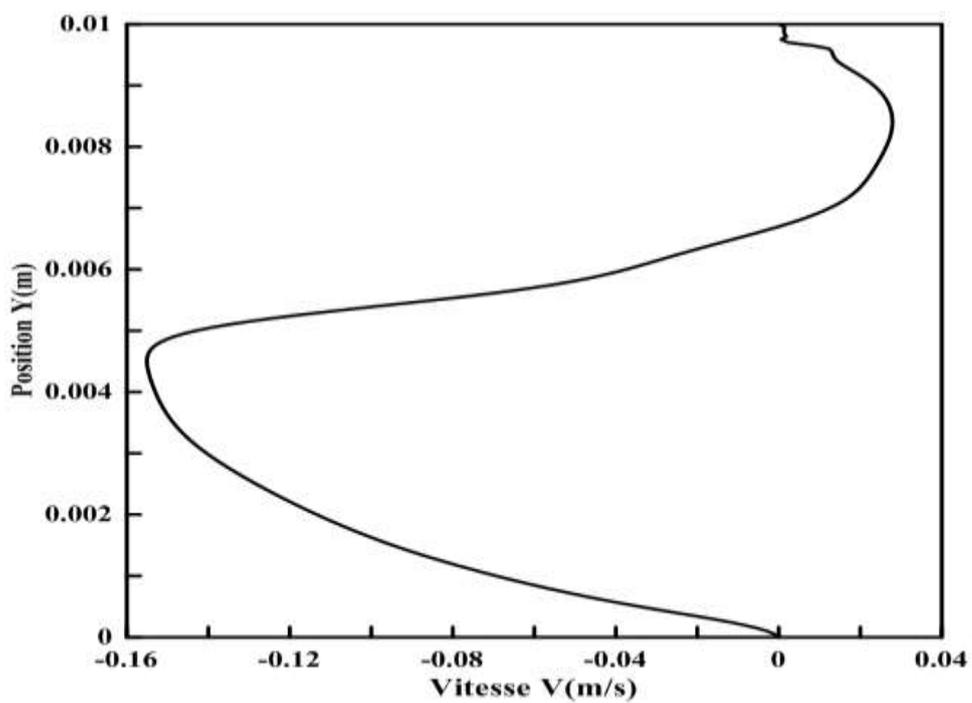


Figure III.9: V(y) pour X=0.2

❖ 2ème cas: Pour $U_l = 0.3861 \text{ m/s}$ et $U_g = 0$; $Re_l = 1924$

$X'=0.05$ Figure III.10: $U(y)$ pour $X'=0.05$ Figure III.11: $V(y)$ pour $X'=0.05$ $X'=0.1$

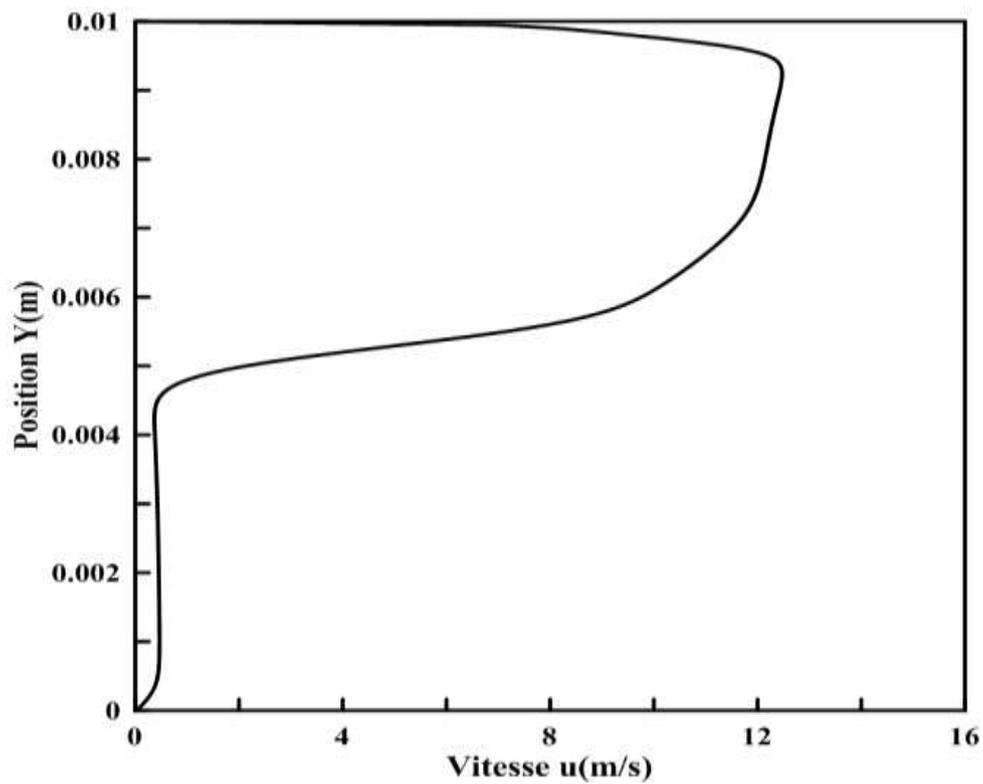


Figure III.12: $U(y)$ pour $X'=0.1$

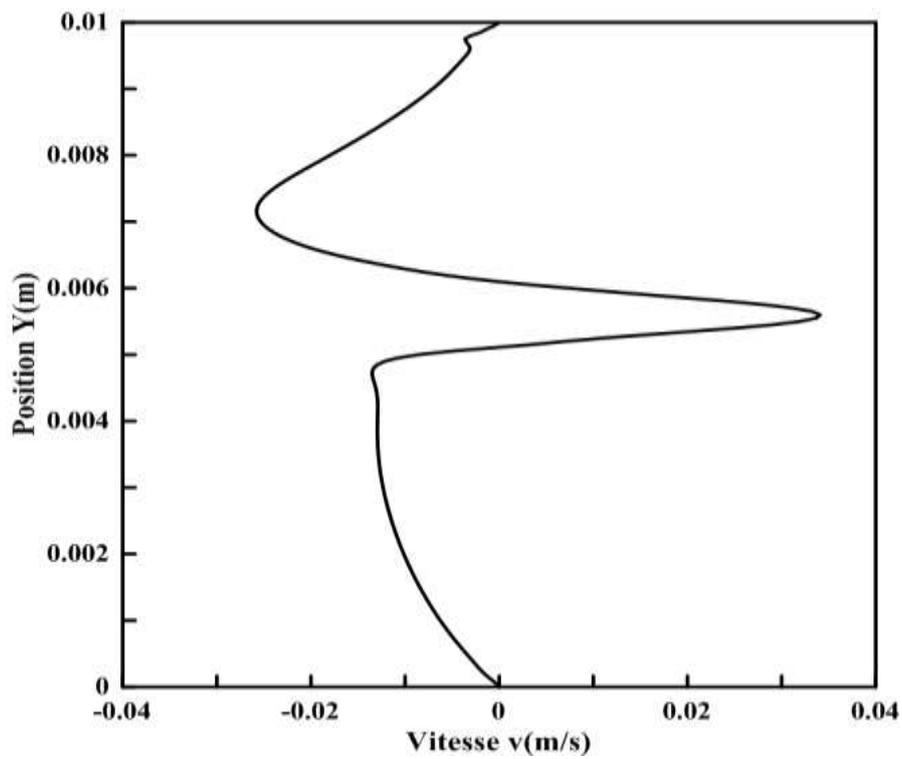
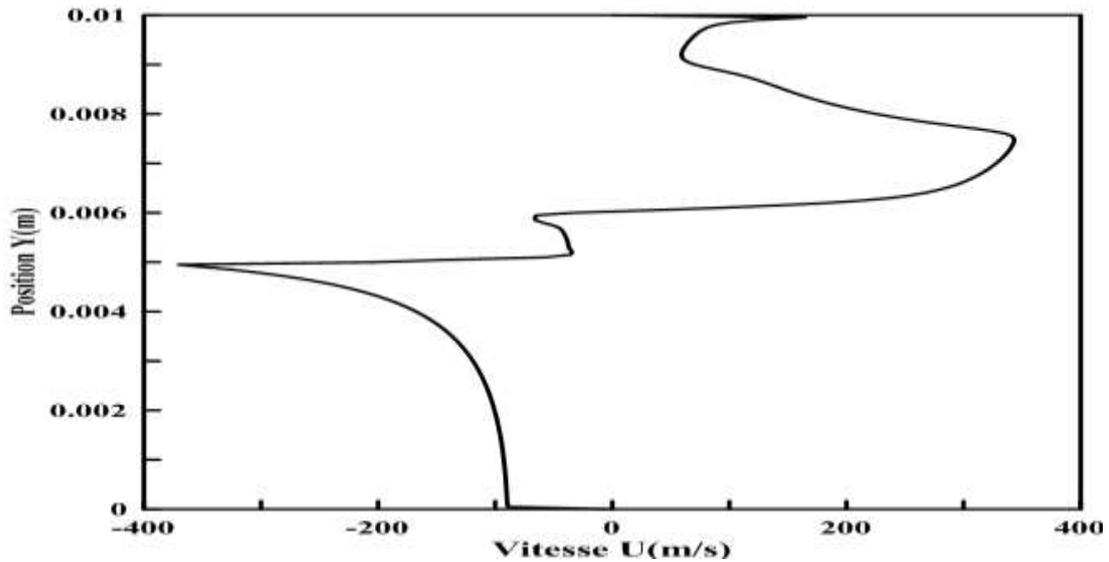
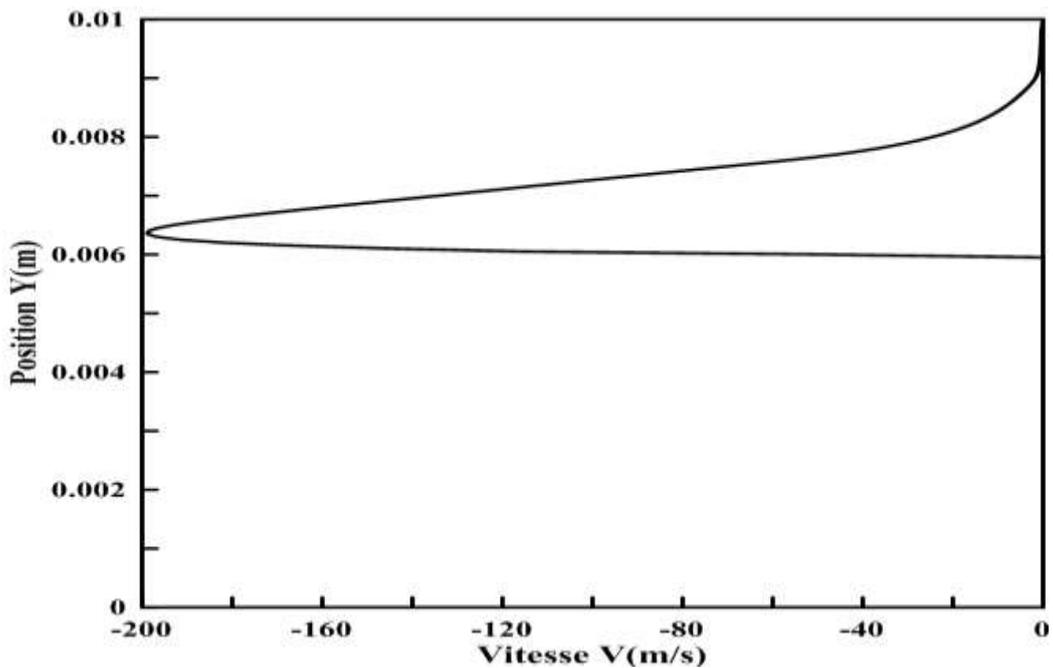


Figure III.13: $V(y)$ pour $X'=0.1$

$X=0.2$

Figure III.14: $U(y)$ pour $X'=0.2$ Figure III.15: $V(y)$ pour $X'=0.2$

Les figures 3 à 18 représentent les profils des vectrices vitesses $U(y)$ et $V(y)$ de l'écoulement.

On Remarque pour $U(y)$ la vitesse du liquide diminue à l'entrée puis se stabilise à partir de $X=0.05$, contrairement à celle de l'air qui reste souvent constante.

Pour $V(y)$, à l'entrée du canal la vitesse d'écoulement est nulle, puis à partir de $X=0.05$ la vitesse du gaz augmente contrairement à celle du liquide qui reste nulle.

III.2.2 Variation de la vitesse à l'interface

❖ **1er cas : Pour** $U_l = 0.1025 \text{ m/s}$ et $U_g = 0 \text{ m/s}$

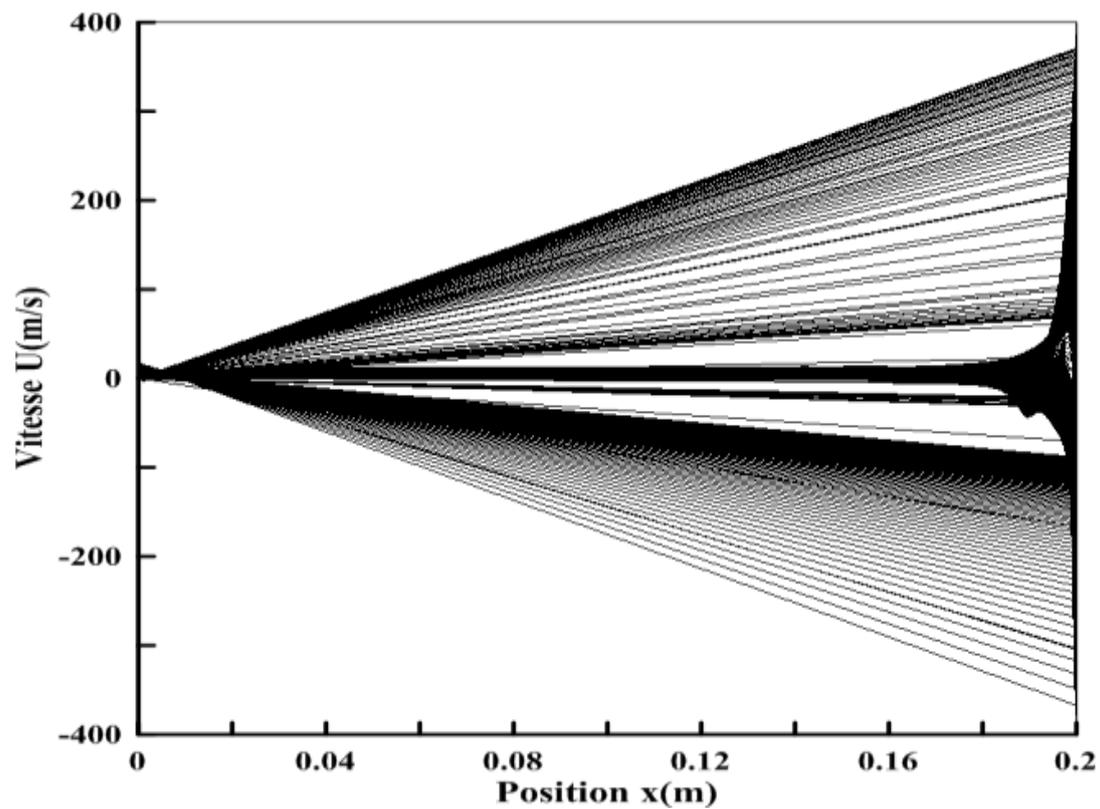
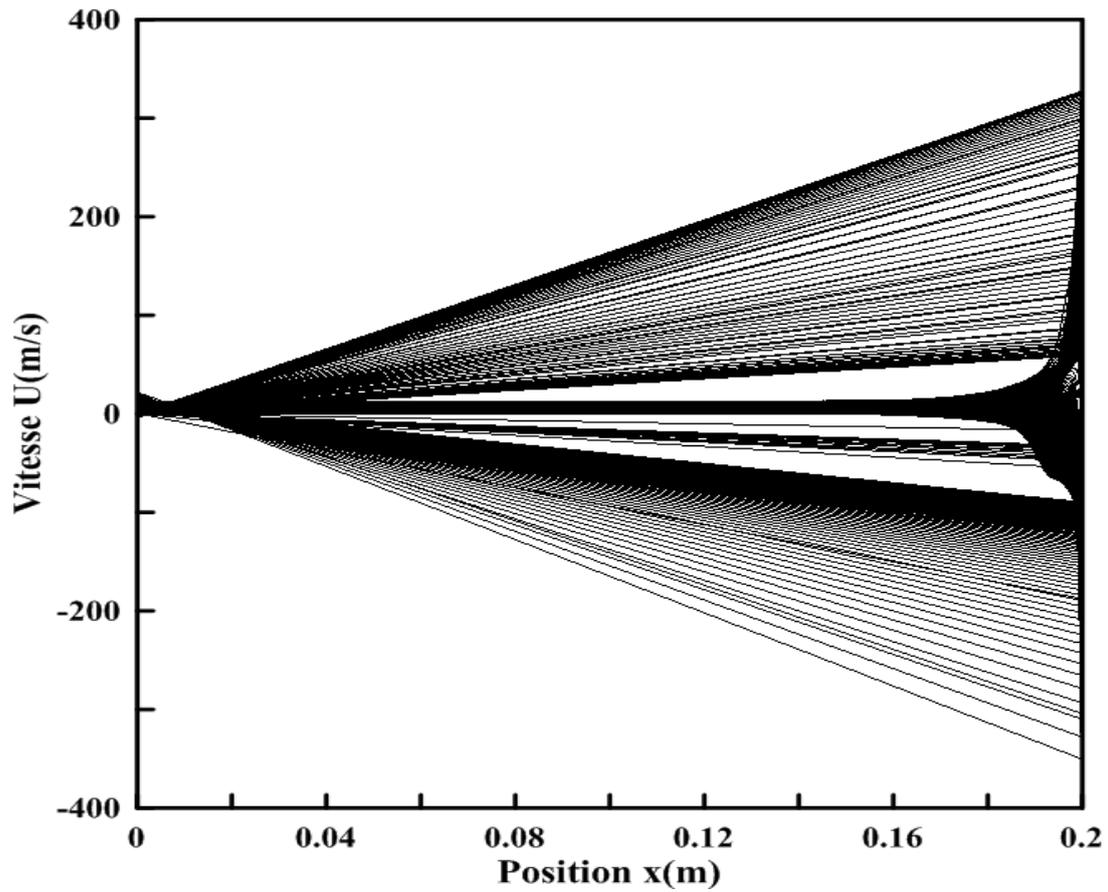


Figure III.16 : $U(x)$ à l'interface

❖ **2ème cas : Pour** $U_l = 0.3861 \text{ m/s}$ et $U_g = 0 \text{ m/s}$

Figure III.17: $U(x)$ à l'interface

III.2.3 Les lignes de courant

❖ **1er cas:** Pour $U_l = 0.1025 \text{ m/s}$ et $U_g = 0 \text{ m/s}$

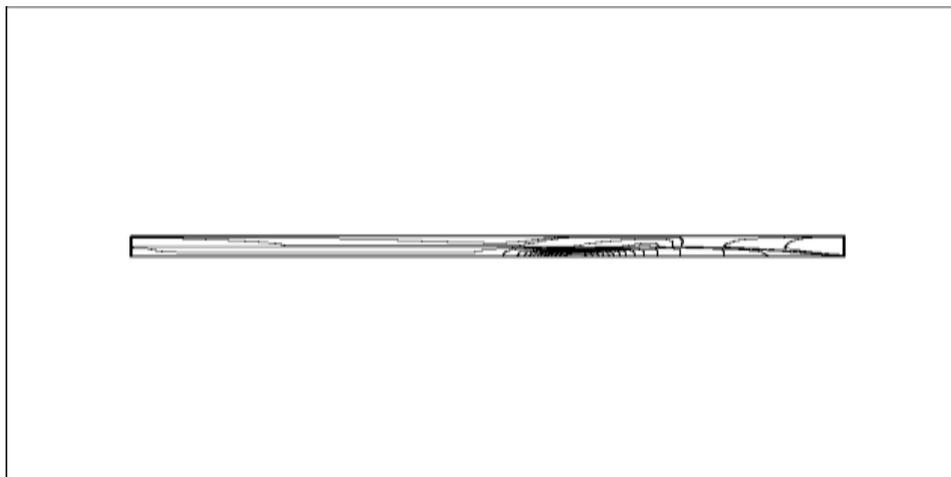


Figure III.18: Ligne de courant

❖ **2ème cas : Pour** $U_l = 0.3861 \text{ m/s}$ et $U_g = 0 \text{ m/s}$

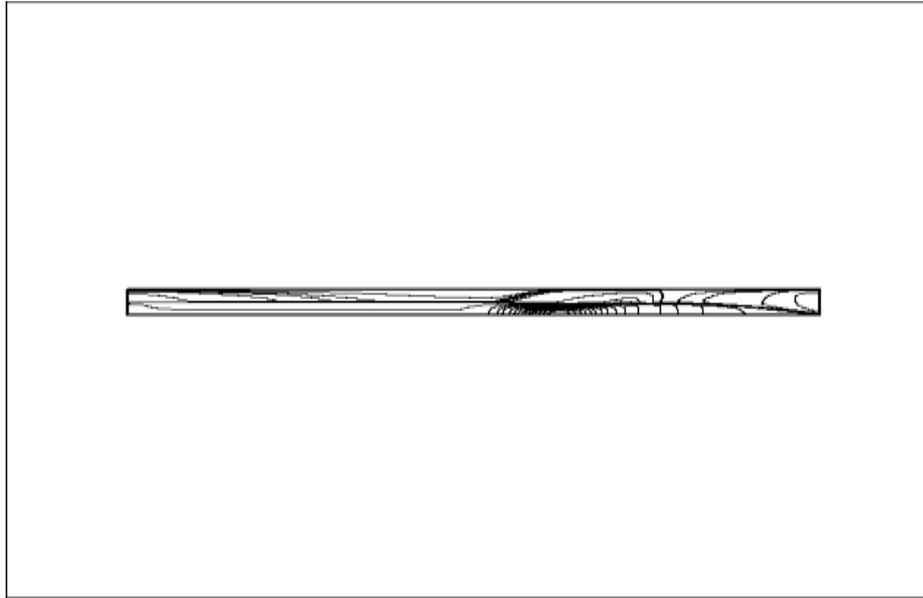


Figure III.19: Lignes de courant

Les deux figures ci dessus représentent les lignes de courant de l'écoulement, à l'entrée du liquide, on remarque que lorsque les deux fluides se rencontrent, la structure de l'écoulement se déforme, due à la vitesse du gaz qui est supérieure à celle du liquide.

III.6 Conclusion

Pour conclure, le modèle d'écoulement ondulé à vague est caractérisé par une interface perturbée séparant la phase gazeuse et liquide, ce modèle apparait lorsque les vitesses du liquide sont importantes pour provoquer des vagues. Cet écoulement peut être reconnu par la présence de fluctuations de la fraction volumique du liquide à travers le temps et le régime turbulent est plus adapté pour ce genre d'écoulement.

Conclusion General

Conclusion General

Le présent travail a pour but l'étude d'un écoulement diphasique dans une conduite horizontale. A travers cette étude numérique de l'écoulement on a pu présenter les différents résultats obtenus pour un écoulement stratifié eau-air entre deux plaques infinies, pour différents nombres de Reynolds variant entre 513 et 1924 pour l'eau et une vitesse nul pour l'air.

La modélisation mathématique de ce problème physique est basée sur les équations de conservation de masse et de la quantité de mouvement. Les propriétés thermo physiques sont considérées constantes.

La résolution numérique de cette étude est effectuée par la méthode des volumes finis. Le couplage vitesse-pression est traité par l'algorithme PISO.

Les principaux résultats tirés de ce travail peuvent être résumés comme suit:

Pour les écoulements stratifiés dans un régime turbulent sont considérés des écoulements stratifiés à vague avec des fluctuations au niveau de l'interface.

Le modèle d'écoulement à vague stratifié est caractérisé par une interface instable et avec fluctuations. Comme perspectives, il serait opportun d'étudier l'écoulement dans une conduite avec une paroi ondulée (bas) introduisant régime turbulent. Cette dernière constituera une perspective intéressante afin de mieux prendre en compte le caractère tourbillonnaire et du sillage près de la paroi ondulée.

Références Bibliographiques

- [1]. Bouarab. Samir <<Simulation numérique des écoulements diphasiques à l'aide de Schémas hybrides de capture et de suivi d'interfaces>> mémoire magister université M'hamed bougara boumerdes **2001**.
- [2]. D. Jamet << Challenges en mathématiques appliqués sur des problématiques en physique des lasers, mécanique des fluides multiphasiques, stockage des déchets nucléaires et physique des plasmas>> École thématique du GdR CHANT **25-29/08/2008**.
- [3]. Seungtae et al. ; Quantitative observation of concurrent stratified two-phase flow in a horizontal rectangular channel, **2014**.
- [4] Hadiyan Yusuf Kuntoro et al. Experimental Study of the Interfacial Waves in Horizontal Stratified Gas-liquid Two-phase Flows by Using the Developed Image Processing Technique, **2015**
- [5] Byeonggeon Bae et al. Experimental investigation of droplet entrainment and deposition in horizontal stratified wavy flow, 2019
- [6] Byeonggeon Bae et al. Characteristics of an interfacial wave in a horizontal air-water stratified flow, **2017**
- [8] Elin Olsson, Gunilla Kreiss, A conservative level set method for two phase flow, *J. Comput.Phys*, 210:225–246, **2005**.
- [9] R. Scardovelli, S. Zaleski, Direct numerical simulation of free-surface and interfacial flow, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 31:567–603, **1999**.
- [10] Dalton J. E. Harvie and David F. Fletcher, a New Volume of Fluid Advection Algorithm: The Stream Scheme, *J. Comput. Phys.* 162:1–32, **2000**.
- [11] Samuel R. Ransau, Solution Methods for Incompressible Viscous Free Surface Flows: A Literature Review, Norwegian University of Science and Technology Trondheim, Norway, Preprint Numerics No. 3/**2002**.
- [12] Vinay Ramohalli Gopala, Volume of Fluid Method, Department of Applied Mechanics,Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden
- [13] Fatiha et al,simulation numérique des écoulement turbulent à surface libre,2018

Résumé

Dans ce travail on présente une étude numérique d'un écoulement diphasique liquide-gaz à travers une conduite rectangulaire. L'analyse de l'écoulement a été effectuée en fonction du nombre de Reynold. Dans ces simulations, la méthode VOF a été utilisée pour résoudre les équations de continuité et de quantité de mouvement dans le cas du régime turbulent. L'analyse des résultats de la structure d'écoulement est illustrée sous forme des lignes de courant, des profils de vitesse sur plusieurs positions de la conduite.

Mots clefs : Ecoulement stratifié, régime laminaire, VOF.

Abstract

In this work we present a numerical study of a two-phase liquid-gas flow through a rectangular pipe. The flow analysis was performed based on the Reynold number. In these simulations, the VOF method was used to solve the continuity and momentum equations for the turbulent regime. The analysis of the flow structure results is illustrated as streamlines, velocity profiles at several pipe positions.

Keywords: Stratified flow, laminar regime, VOF.