

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'AERONAUTIQUE**

Mémoire de Fin d'Etudes

**Pour l'obtention du grade de Master Avancé en Aéronautique
Option : Propulsion**

Thème

**Exploitation des cartes d'écoulements
de Pétales et Aziz établies pour les
écoulements à deux phases gaz-liquide**

Présenté par :

Mr. Abdelhamid BOUTAFENOUCHE

Encadreur :

Dr. Kamel SIDI ALI

Année Universitaire 2011/2012

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu Dieu pour son aide précieuse.

Avant de présenter mon projet de fin d'études, je tiens à présenter ma profonde reconnaissance à :

- Mon promoteur Dr. Kamel Sidi-Ali qui est toujours resté à mon écoute, qui a toujours été disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans lequel ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.
- Tous les personnels du Centre de Recherche Nucléaire de Draria pour m'avoir permis de réaliser ce stage dans de si bonnes conditions.
- Je remercie aussi tous ceux qui ont contribué de près ou de loin par leurs aides et conseils à finaliser ce projet.

Abdelhamid

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail A:

*Mes chers parents pour leur soutien
et leur réconfort*

A Mes Frères : Najib et Adlene

A Mes Sœurs : Nabila, Souhila et Ratiba

A Mon Neveu Mehdi et Ma Nièce Khouloud

*A toute la famille Boutafenouchet et
Fennouche*

A tous mes Amis

A tous mes collègues de la promotion

*A toutes les personnes qui me connaissent de
prés ou de loin...*

En fin à tous ceux que j'aime !!!!!!!!!!!!!

Abdelhamid

Sommaire

Introduction Générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités

I.1 Introduction.....	3
I.2 Dynamique des écoulements diphasiques.....	4
I.2.1 Définition des écoulements diphasiques.....	4
I.2.2 Classification des écoulement diphasiques.....	4
I.2.3 Ecoulements verticaux Co-courants ascendants.....	5
I.2.3.1 Les différentes configurations	5
I.2.4 Ecoulement horizontal co-courant	6
I.2.4.1 Les différentes configurations	6
I.2.5 Les cartes d'écoulements	8
I.2.5.1 Les cartes d'écoulements verticaux	8
I.2.5.2 Les cartes d'écoulements horizontaux.....	10
I.2.6 Principaux paramètres des écoulements diphasiques.....	12
I.2.7 Équations de base d'un écoulement diphasique	14
I.2.8 Modèles en écoulement diphasique	16
I.3 Conclusion	17

Chapitre II: Présentation du modèle de Petalas et Aziz

II.1 Introduction	20
II.2 Le modèle de Petalas et Aziz.....	21
II.2.1 Les carte d'écoulements de Pétalas et Aziz.....	22
II.2.2 Définition de la fraction volumique.....	23
II.3 La théorie des écoulements diphasiques.....	23
II.4 Détermination de la configuration d'écoulement	26
II.4.1 Ecoulement a bulles dispersées	26
II.4.2 Ecoulement stratifié	27
II.4.3 Ecoulement annulaire	30
II.4.4 Ecoulement à bulles.....	33
II.4.5 Ecoulement intermittent	34
II.4.6 Ecoulement a mousse	36
II.5 Conclusion	36

Chapitre III: Exploitation du modèle de Petalas et Aziz

III.1 Introduction	38
III.2 Description de la géométrie du canal	39
III.3 L'objectif.....	41
III.4 Procédure de calcul	41
III.4.1 Méthode de calcul	41

III.4.2 Cote des différents types d'écoulements.....	43
III.4.2.1 Ecoulement à bulle dispersée	43
III.4.2.2 Ecoulement stratifié.....	44
III.4.2.3 Ecoulement annulaire	48
III.4.2.4 Ecoulement à bulles.....	51
III.4.2.5 Ecoulement à poches	52
III.4.2.6 Ecoulement à bulles allongées	53
III.4.2.7 Ecoulement à mousse.....	55
III.5 Organigramme général	56
III.6 Résultats obtenus	59
III.7 Conclusion.....	65

Conclusion Générale	67
----------------------------------	-----------

Références bibliographiques

Résumé

Sur une carte d'écoulement de deux phases gaz-liquide, le passage d'une configuration d'écoulement à une autre et une transition. Plusieurs configurations existent. On se propose dans ce travail de présenter une procédure pour se retrouver dans les différentes configurations d'écoulements pour un écoulement à deux phases gaz-liquide dans une conduite disposée verticalement ou horizontalement. Les différents types d'écoulements ont été modélisés par plusieurs modèles modèle de Flanigan (1958), le modèle de Hagedorn et Brown (1964), le modèle de Beggs et Brill (1973), le modèle de Gray (1978) et à la fin le modèle de Pétales et Aziz (1998). On a étudié dans ce travail la carte établie par Pétales et Aziz (1998). Pour ce faire, on a écrit les équations qui régissent chaque transition, puis on a fait une comparaisant des résultats obtenus avec la carte d'écoulement établie.

Mots-clefs : écoulement, deux phases, configuration, gaz, liquide.

Abstract

On a map of flow of two-phase gas-liquid, the passage of a flow pattern to another and a transition. Several configurations exist. We propose in this work the different flow configurations in a two-phase flow in a gas-liquid pipe horizontally and vertically. The different types of flows have been modeled by several models model Flanigan (1958), the model of Hagedorn and Brown (1964), Beggs and Brill model (1973), the model of Gray (1978) and end of the model Petalas and Aziz (1998). We study in this work the map drawn by Petalas and Aziz (1998). To do this, we write the equations that govern each transition, Then will the results appearing with the flow map established.

Keywords: flow, two phases, configuration, gas, liquid.

ملخص

في خارطة تدفق للمرحلتين غاز- سائل ، نسمي المرور من نمط تدفق إلى آخر بالتحول . توجد تكوينات عديدة لهذه الحالة ، نقترح في هذا العمل تكوينات مختلفة في التدفق بحيث نتطرق لتدفق المرحلتين (في أنبوب الغاز السائل) أفقيا وعموديا. تم الوصول لأنواع مختلفة من التدفقات من خلال العديد من النماذج، نذكر اهمها نموذج فلانيجان (1958)، نموذج من هاغيدورن وبراون (1964) ، نموذج بريل (1973) ، نموذج غراي (1978) ، وفي نهاية نموذج بيتالاس و عزيز(1998).

درس في هذا العمل الخريطة التي رسمها بيتالاس و عزيز(1998) ، بحيث نكتب المعادلات التي تحكم كل انتقال، بعد ذلك تظهر النتائج مع خريطة تدفق المعمول بها.

كلمات البحث: تدفق، مرحلتين، التكوين، الغاز، السائل

LISTES DES FIGURES

Figure	Titre de la figure	Page
Figure I.1	Configurations d'écoulements diphasiques en conduite verticale	5
Figure I.2	L'écoulement diphasique eau-air en conduite horizontale	7
Figure I.3	Carte de Mac Quillan et Whalley (1985) établie pour les écoulements eau- air	9
Figure I.4	Carte Mandhane et al(1974) lors d'un écoulement horizontal	10
Figure II.1	Figure montre l'angle de l'inclinaison θ dans un écoulement à deux phases	21
Figure II.2	La carte de Pétales et Aziz lors d'un écoulement gaz-liquide horizontal	22
Figure II.3	La carte de Pétales et Aziz lors d'un écoulement gaz-liquide vertical	23
Figure III.1	Les différentes configurations dans une conduite horizontale et verticale.	39
Figure III.2	Géométrie de la conduite pour un écoulement stratifié	39
Figure III.3	Organigramme de détermination de la fraction volumique	42
Figure III.4	Montre les nouveaux paramètres a calculé.	42
Figure III.7	Détermination de la configuration de l'écoulement à bulle dispersée	44
Figure III.8	Détermination de la configuration pour l'écoulement stratifié	45
Figure III.9	Détermination de la configuration pour le stratifié lisse	47
Figure III.10	Détermination de la configuration pour le stratifié à vague	48
Figure III.11	Détermination de la configuration pour l'écoulement annulaire	50
Figure III.12	Détermination de la configuration pour l'écoulement à bulles	52
Figure III.13	Détermination de la configuration pour l'écoulement à poches	53
Figure III.14	Détermination de la configuration pour l'écoulement à bulles allongées	54
Figure III.15	Détermination de la configuration pour l'écoulement à mousse	55
Figure III.16	Organigramme globale des types d'écoulements	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I.1	Domaine de validité de la carte de Mandhane et al. (1974)	11
Tableau II.1	Montre les type des écoulements suivant l'angle θ dans le modele de Petalas et Aziz	22
Tableau III.1	Propriétés du fluide (gaz-liquide)	40
Tableau III.2	Donne les types d'écoulements à ($\theta = 0^\circ$)	59
Tableau III.3	Donne les types d'écoulements à ($\theta = 90^\circ$)	61

Nomenclature

Symbole	Désignation
V_{sg}	La vitesse superficielle du gaz [m/s]
V_{sl}	La vitesse superficielle du liquide [m/s]
α	Le taux de présence liquide
ρ_G	La masse volumique du gaz [Kg/m^3]
ρ_L	La masse volumique du liquide [Kg/m^3]
\dot{m}	La vitesse massique [Kg/m^2s]
x	Le titre massique
X	Le paramètre de Lockart et Martinelli
F	Le nombre de Froude
P	La pression [Pa]
$\left(\frac{dp}{dz}\right)_L$	Le gradient de la pression dans le liquide [Pa/m]
$\left(\frac{dp}{dz}\right)_G$	Le gradient de la pression dans le gaz [Pa/m]
\dot{m}_L	Le titre massique du liquide
μ_G	La viscosité dynamique du gaz [Pa.s]
μ_L	La viscosité dynamique du liquide [Pa.s]
Re_L	Le nombre de Reynolds du liquide
G_G	La vitesse massique de gaz [Kg/m^2s]
G_L	La vitesse massique du liquide [Kg/m^2s]
M_G	Le débit massique du gaz [Kg/s]
M_L	Le débit massique du liquide [Kg/s]
M_t	Le débit massique total [Kg/s]
S_G	Le périmètre du passage du gaz [m]
S_L	Le périmètre du passage du liquide [m]
σ	La tension superficielle [N/m^2]
f_L	Le facteur de friction du liquide
f_G	Le facteur de friction du gaz
Q_L	Le débit volumique du liquide [Kg/s]
Q_G	Le débit volumique du gaz [Kg/s]
x	Le titre massique
S	Le glissement
V_G	La vitesse du gaz à l'entrée de la conduite [m/s]
V_L	La vitesse du liquide à l'entrée de la conduite [m/s]
τ_i	La contrainte de cisaillement à l'interface [Pa]
τ_{wG}	La contrainte de cisaillement gaz-paroi [Pa]
τ_{wL}	La contrainte de cisaillement liquide-paroi [Pa]
e_i	L'énergie interne du liquide [j/kg]

e_g	L'énergie interne du gaz [j/kg]
h_l	L'enthalpie de liquide
h_g	L'enthalpie de gaz
D	Le diamètre de la conduite [m]
θ	L'angle d'inclinaison de la conduite [°]
h_L	La hauteur du liquide [m]
δ	L'épaisseur du film liquide [m]
q	La densité de flux de chaleur
g	La gravité
E_L	La fraction volumique de liquide
V_m	La vitesse du mélange [m/s]
C_L	La fraction de volume d'entrée de liquide
N_B	Le nombre de Gray
C_G	La fraction de volume d'entrée du gaz
C_1	Le coefficient de distribution
μ_m	La viscosité du mélange [Pa.s]
E_G	La fraction de volume de gaz
ρ_m	La masse volumique de mélange [Kg/m^3]
E_{Ls}	La fraction volumique de liquide a poche
(\widetilde{h}_L)	La hauteur du liquide sans dimensions
$(\widetilde{\delta}_L)$	L'épaisseur de film liquide sans dimensions [m]
δ_{Lmax}	L'épaisseur de film liquide maximale sans dimensions
FE	Le fraction du liquide entraîné
f_f	Le facteur de frottement pour le film liquide
f_i	Le facteur frottement
V_b	La vitesse de la bulle [m/s]
V_t	La vitesse de translation [m/s]
d_b	Le diamètre de la bulle [m]
s	La longueur de l'interface [m]
A_T	La section total de la conduite [m ²]
β	L'angle relatif à la hauteur du liquide [°]
A_L	La section du liquide [m ²]
A_G	La section du gaz [m ²]
F_{rL}	Le nombre de Froude
\overline{A}_L	La section du liquide sans dimension
\overline{A}_G	La section du gaz sans dimension
V_c	La vitesse des noyaux gazeuses [m/s]
ρ_c	La masse volumiques des noyaux gazeuses [Kg/m^3]
V_f	La vitesse du film liquide [m/s]
Re_f	Le nombre de Reynolds du film liquide
f_c	Le facteur frottement pour les noyaux gazeuses
V_{Gdb}	La vitesse des bulles dispersées. [m/s]

Introduction générale

Dans la nature comme dans l'industrie, existent plusieurs types d'écoulements; de milieu homogène comme un gaz, un liquide ou un solide, ou alors des combinaisons complexes de deux ou plusieurs phases prédominant avec des écoulements : gaz-liquide, gaz-solide, liquide-solide, liquide-liquide, gaz-liquide-liquide et même gaz-liquide-solide. Par exemple : les nuages sont des gouttelettes de liquide se déplaçant dans un gaz. Aussi, Le pétrole, le gaz et l'eau peuvent coexister dans la roche Wallis (1969) [1], Ishii (1971) [2]. Et encore, près de la surface de la terre, les particules sont déplacées par l'interaction avec l'eau ou l'air ou dans les applications développées par l'homme Govier et Aziz (1972) [3].

L'écoulement diphasique est rencontré dans beaucoup d'applications d'ingénierie. C'est un sujet difficile principalement en raison de la complexité de la forme dans laquelle les deux fluides existent, la distribution des phases influe sensiblement sur la quantité de mouvement et les taux de transfert d'énergie et de masse. L'étude de ce couplage complexe dans chaque phase de l'écoulement représente un défi important. Ce sujet est devenu progressivement important et a besoin d'une meilleure compréhension afin de mener à des exploitations sûres. Parmi les écoulements diphasiques, le cas gaz-liquide, qui est généralement répondu dans beaucoup de types de procédés comme : la gestion des hydrocarbures en mer ou dans leur transport dans des canalisations.

En plus d'être le plus connu des écoulements diphasiques, l'écoulement gaz-liquide est également le plus complexe puisqu'il combine pour un débit donné de fluides une interface gaz-liquide déformable (une grande variété de formes). En conséquence, de nombreux chercheurs ont conclu que, bien que théoriquement il soit possible, il est difficile de résoudre ce problème d'écoulement à deux phases en utilisant les équations de Navier-Stokes classiques. Ceci a mené à une approche dans laquelle les distributions des écoulements sont classifiées selon plusieurs types qui permettent d'étudier les caractéristiques principales de chaque phase séparément.

Ce travail est composé de quatre grands chapitres :

On présente dans le premier chapitre des généralités sur les écoulements à deux phases dans les conduites. Les différentes configurations et des cartes pour la prédiction de ces

configurations sont présentées. On aborde aussi les différentes mises en équations de l'écoulement à deux phases.

Dans le second chapitre, on présente le modèle de Petalas et Aziz (1998), on va voir les différentes configurations d'écoulements dans un écoulement à deux phases gaz-liquide dans une conduite horizontale et verticale et ces cartes d'écoulements établie par Pétalas et Aziz (1998). Pour ce faire, on écrit les équations qui régissent chaque transition et à la fin le passage d'une configuration d'écoulement à une autre.

Dans le troisième chapitre, on écrit pour chaque type d'écoulement sa mise en équation. Après, on compare les résultats obtenus avec la carte d'écoulement proposé par ces dernier permettant de connaître et comparé la configuration d'écoulement dans laquelle on se trouve juste en connaissant les deux vitesses superficielles du gaz et du liquide.

Dans le chapitre quatre on présente une conclusion générale sur l'ensemble du travail effectué et les résultats obtenus.

Chapitre I : Généralité

I.1/ Introduction

Lorsque deux phases circulent dans une conduite, les surfaces qui séparent les phases, forment des structures particulières. L'expérience montre qu'elles sont en nombre limité : à bulles, à gouttes, films liquides, à poches de gaz et bouchons de liquide. Les différentes configurations de ces structures s'appellent les types-d'écoulement.

Dans ce chapitre on présente les différents types d'écoulements qui décrivent le comportement dynamique d'un écoulement diphasique. Et ensuite les différents paramètres caractéristiques d'un écoulement diphasique, ses différents régimes existants ainsi que les cartes d'écoulements. Ensuite, on aborde les modèles en écoulement diphasiques.

I.2/ Dynamique des écoulements diphasiques :

I.2.1/ 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.2.2/ Classification des écoulements diphasiques :

Les écoulements diphasiques peuvent être classifiés selon les combinaisons des phases mises en jeu ou selon les structures des interfaces :

➤ **Classification basée sur les combinaisons des phases :**

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

- Mélange de deux liquides non-miscibles (échangeurs de chaleur à contact direct par exemple).
- Mélange solide-liquide (transport des boues).
- Mélange gaz- solide (transport pneumatique).
- Mélange gaz-liquide (ébullition dans des réacteurs nucléaires).

➤ **Classification basée sur les structures d'interface :**

Un écoulement diphasique peut être classifié selon la distribution géométrique des phases appelée configuration d'écoulement. Différents configurations sont identifiés par inspection visuelle ou par analyse spectrale des fluctuations de la fraction volumique ou des pressions instables.

Concernant le cas gaz- liquide, on distingue les écoulements suivants :

- Configuration dispersée : la phase dispersée forme de petites inclusions (bulles si c'est du gaz, gouttes si c'est du liquide) dans l'autre phase appelée phase continue.

Cette classe peut être divisée en plusieurs régimes selon la nature de la phase dispersée : particule, gouttelette ou bulle. Dans ce type d'écoulement, la phase dispersée est largement distribuée sous forme des bulles, des gouttes ou des particules dans la phase continue.

- Configuration séparée : les deux phases n'ont qu'une seule interface commune
L'écoulement séparé comprend des régimes en jets et annulaires. Dans ce type d'écoulement, deux phases circulent séparément sous la forme de jets parallèles.
- Configuration intermittente : Pendant que la structure d'interface change graduellement, il existe une troisième classe qui est la combinaison de l'écoulement séparé et dispersé. les phases se succèdent alternativement dans une section de l'écoulement.

Pour les écoulements en conduite, on considère deux cas particuliers importants pour les applications : les écoulements verticaux et les écoulements horizontaux ou faiblement inclinés.

I.2.3/ Ecoulements verticaux Co-courants ascendants :

I.2.3.1/ Les différentes configurations :

Les principales configurations d'écoulement Co-courants eau-air dans une conduite verticale sont :

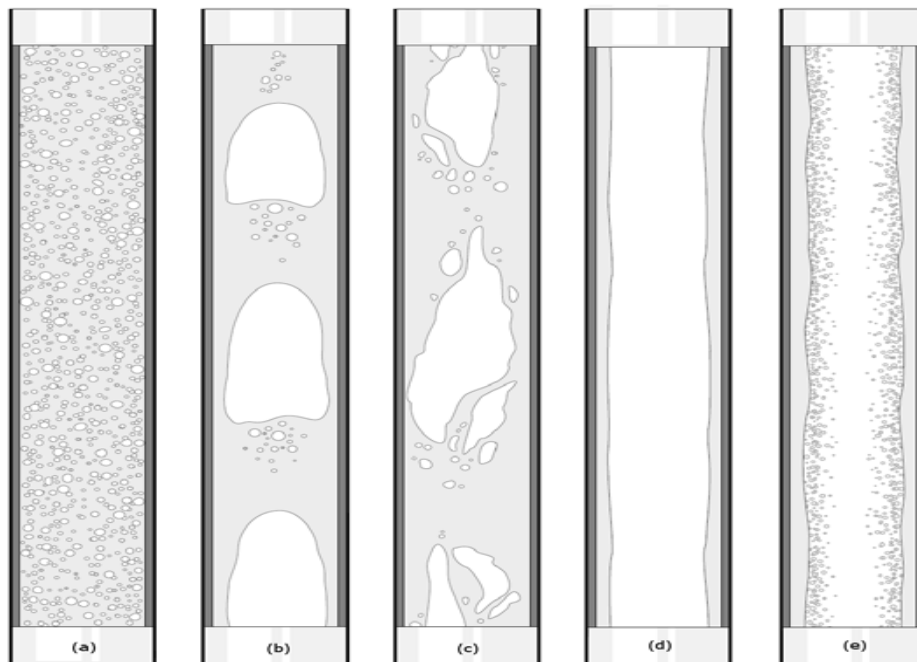


Figure I.1. Configurations d'écoulements diphasiques en conduite verticale.

(a) à bulles, (b) à poches, (c) à poches disloquées, (d) annulaire, (e) à bulles dispersées.

La figure I.1 reporte les différents configurations d'écoulement diphasique pouvant être rencontrés en conduite verticale on distingue :

- L'écoulement à bulles (a) qui apparait pour des quantités d'air assez faibles et des vitesses du liquide importantes ;

- L'écoulement à poches (b) qui résulte de la coalescence des bulles de diamètre quasi-équivalent à celui du tube. Elles deviennent disloquées sous l'effet de la turbulence et l'écoulement se dit à poches disloquées (c)

- L'écoulement annulaire (d) qui se produit généralement pour des débits d'air importants. Un film liquide est présent sur l'ensemble de la conduite et le cœur de l'écoulement est constitué par la phase d'air qui peut contenir des gouttes de liquide arrachées à l'interface.

- Enfin pour un taux d'air encore plus élevé, la phase liquide n'est continue dans l'écoulement que sous forme de gouttes, c'est l'écoulement à dispersion des gouttes ou dispersées (e).

I.2.4/ Ecoulements horizontaux co-courants :

I.2.4.1/ Les différentes configurations :

Le nombre de configuration possible en écoulement horizontal est plus grand qu'en écoulement vertical. En effet, de nouvelles structures apparaissent comme l'écoulement stratifié car, en raison de l'effet de la gravité, les phases peuvent être séparées en deux couches distinctes, la plus dense étant située au bas de la conduite. En écoulement horizontal ou faiblement incliné, on observe les types d'écoulements suivants qui sont représentés sur la figure (I.2).

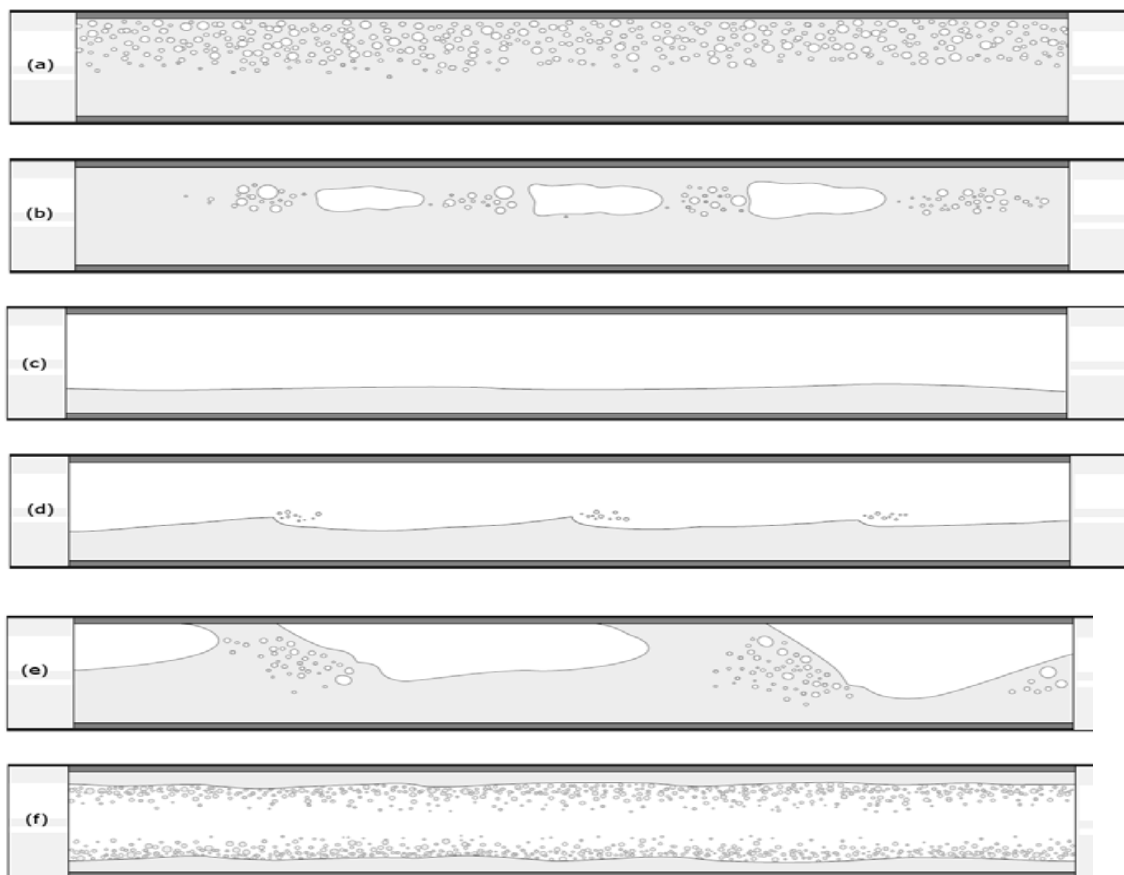


Figure I.2 : L'écoulement diphasique eau-air en conduite horizontale.

- a) **Les écoulements à bulles dispersées** : cette configuration ressemble à celle des écoulements verticaux. Toutefois, on observe une accumulation de gaz vers le haut de la conduite.
- b) **Les écoulements à bouchons** : des bouchons de gaz se forment en haut de la conduite.
- c) **Les écoulements stratifiés lisses** : les deux phases sont superposées et séparées par une interface lisse.
- d) **Les écoulements stratifiés à vagues** : les deux phases sont toujours séparées mais l'interface est agitée par des vagues bidimensionnelles ou tridimensionnelles.
- e) **L'écoulement à poche de gaz** : de grandes poches de gaz se forment et sont intercalées entre des bouchons de liquide plus ou moins aérés.
- f) **L'écoulement annulaire** : un film liquide tapisse entièrement la paroi comme en écoulement vertical. Le film liquide est plus épais en bas de la conduite sous l'action de la gravité.

I.2.5/ Les cartes d'écoulements :

Une carte d'écoulement est une représentation graphique bidimensionnelle des domaines d'existence des différents types d'écoulements. Les systèmes de coordonnées qui la définissent sont choisis parmi les variables de l'écoulement diphasique. Ces derniers sont différents selon les auteurs. Les paramètres qui sont souvent employés sont ceux utilisés par l'expérimentateur; à savoir les vitesses superficielles du liquide V_{sl} et du gaz V_{sg} . Les frontières entre les différents types d'écoulements n'ont jamais été bien définies et les zones de transition sont relativement étendues. La première carte fut celle de Baker (1954) [4] proposé pour un écoulement horizontal.

I.2.5.1/ Les cartes d'écoulements verticaux :

- **Carte de Mac Quillan et Whalley (1985) [5] :**

Pour les écoulements eau-air, on citera la carte de Mac Quillan et Whalley (1985) [5] qui ont établi une carte définissant les différentes configurations d'écoulements eau-air. Sur cette carte, ils ont convenablement défini les frontières des différentes zones de transition. Ces frontières sont généralement représentées à partir des relations analytiques adimensionnelles ou dimensionnelles, faisant intervenir les débits et les propriétés de chaque phase ainsi que les caractéristiques de l'installation expérimentale. Ci-dessous, la figure I.3 qui représente le carte d'écoulement établie.

En abscisses,

$$\rho_L V_{sl}^2 = \frac{\bar{m}^2(1-x)^2}{S^2 \rho_L} \quad (1.1)$$

Et en ordonnée la grandeur,

$$\rho_G V_{sl}^2 = \frac{\bar{m}^2(x)^2}{S^2 \rho_G} \quad (1.2)$$

Où \bar{m} est le débit massique du mélange moyenné sur le temps, ρ_L est la masse volumique de liquide, ρ_G est la masse volumique de gaz, V_{sg} vitesse superficielle du gaz, V_{sl} vitesse superficielle du liquide, s la longueur de l'interface gaz-liquide.

Ces grandeurs sont évaluées à la cote moyenne de la zone d'intérêt. Les résultats obtenus par Bennett et al. (1965) [6] pour les écoulements eau-vapeur sont également bien représentés dans le diagramme de Mac Quillan et Whalley (1985) [5]. Ils concernaient des écoulements eau-air s'écoulant dans une conduite. Dans le calcul de V_L et V_G , le titre massique x est approché par le titre à l'équilibre x_{eq} .

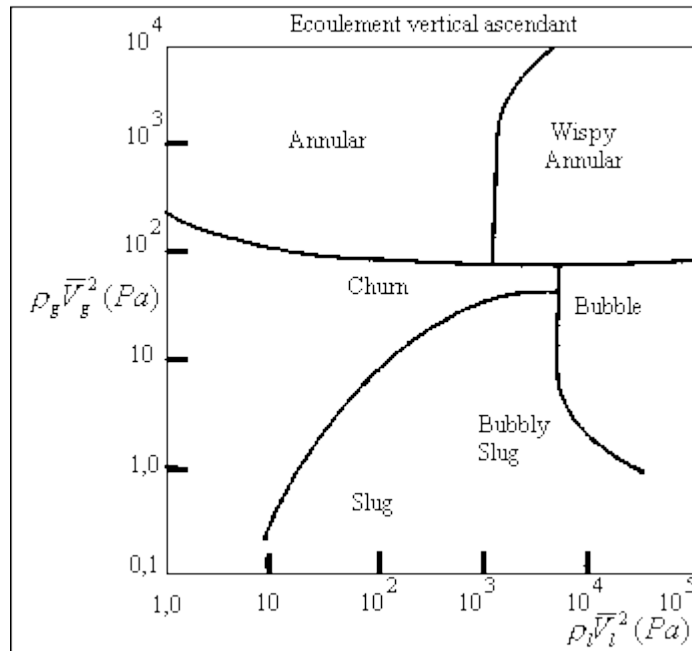


Figure I. 3 : Carte de Mac Quillan et Whalley (1985) [5] établie pour les écoulements eau- air

Description de la carte :

On utilise cette carte pour établir les différentes configurations d'écoulement pour les conduites verticales. En ordonnée, on calcule $\rho_G * V_{sg}^2$ et en abscisse on calcule $\rho_L * V_{sl}^2$. Cette carte contient cinq types d'écoulement (annulaire, annulaire fragmenté, à bulles, à poches, pulsatile). Par exemple si on veut être on écoulement annulaire vertical, il faut avoir une valeur d'abscisse comprise entre 0 et 10^2 Pa et une valeur d'ordonnée comprise entre 10^2 et 10^6 .

I.2.5.2 / Les cartes d'écoulements horizontaux :

Comme pour les écoulements dans les tubes verticaux, la prédiction de la configuration d'un écoulement peut se faire soit à partir d'une carte empirique, soit en appliquant une méthode basée sur l'analyse des mécanismes de transition entre les configurations.

- **Carte de Mandhane et al (1974) [7]:**

La carte d'écoulement présentée précédemment dans la figure I.4 (Mandhane et al. 1974) a été établie pour un écoulement horizontal gaz liquide en conduite cylindrique. Celle-ci utilise comme système de coordonnées les vitesses superficielles du liquide et du gaz et une échelle logarithmique. Les frontières de transition entre les différents types restent encore moins précises dans cette carte on utilise la représentation V_{sl} (Ordonnée) et V_{sg} (abscisse) ou V_{sg} est évaluée aux conditions de pression et de température de l'écoulement. La carte de Mandhane et al. est valable quel que soit le couple de fluides considéré pour des paramètres variant dans les gammes indiquées au (tableau I.1).

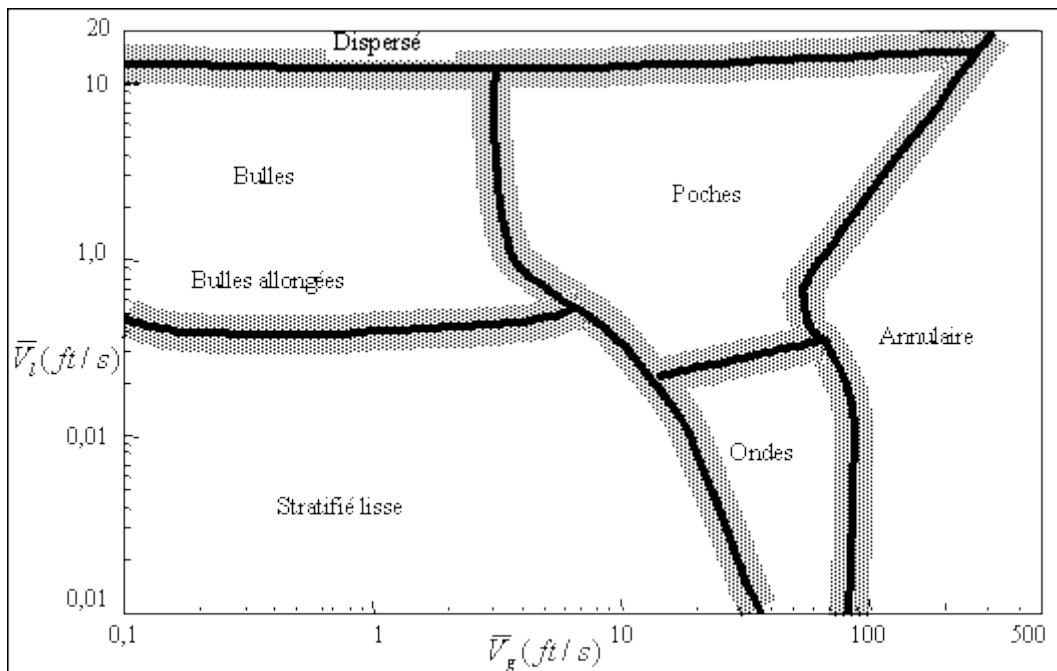


Figure I.4: Carte Mandhane et al(1974) [7] lors d'un écoulement horizontal

Description de la carte :

Cette carte est spécifique pour les écoulements horizontaux, elle contient six types d'écoulement (stratifié, à poches, à bouchons, à bulles, annulaire, à vagues), et les lignes de transitions.

V_{sg} et V_{sl} ou $(\bar{V}_g \text{ et } \bar{V}_l)$: sont respectivement les vitesses superficielles du gaz et du liquide, elles sont calculées comme suit :

$$V_{sg} = V_G * \alpha = \frac{\dot{X}\dot{m}}{\rho_G} \text{ (abscisse) et } V_{sl} = V_L * (1 - \alpha) = \frac{(1-\dot{X})\dot{m}}{\rho_L} \text{ (ordonnée)}$$

Où : α est le taux de vide ; ρ_G et ρ_L sont respectivement les masses volumiques du gaz et du liquide, \dot{m} la vitesse massique, et \dot{X} le titre massique.

Cette carte est valide dans les conditions suivantes :

Diamètre de la conduite (cm)	1.3 – 16.5
Masse volumique du liquide (Kg/m ³)	705 – 1009
Masse volumique du gaz (kg/m ³)	0.80 – 50.5
Viscosité du liquide (Pa.s)	$3 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-2}$
Viscosité du gaz (Pa.s)	$10^{-5} - 2.2 \times 10^{-2}$
Tension superficielle (N/s)	0.024 – 0.103
Vitesse du liquide V_l (m/s)	0.1 – 730
Vitesse du gaz V_g (m/s)	0.04 – 170

Tableau I.1: domaine de validité de la carte de Mandhane et al. (1974) [7]

I.2.6/ Principaux paramètres des écoulements diphasiques :

Un écoulement diphasique est caractérisé par les vitesses, les débits massiques et volumiques, les fractions massiques et volumiques des deux phases en présence Delhay (1981) [8]

Pour un écoulement liquide-gaz dans une conduite, l'indice "l" se rapporte à la phase liquide et l'indice "g" se rapporte à la phase gazeuse. Nous définissons les grandeurs utilisées en écoulement diphasique de la manière suivante :

- **Les débits massiques :**

Les débits massiques du liquide et du gaz sont calculés suivant les équations suivantes :

$$M_L = \rho_L V_L A_L \quad (1.3)$$

$$\text{Et : } M_G = \rho_G V_G A_G \quad (1.4)$$

Le débit massique total est calculé suivant l'équation suivante :

$$\text{Avec : } M_t = M_G + M_L \quad (1.5)$$

ρ_L et ρ_G sont les masses volumiques des phases liquide et gazeuse respectivement ; V_L et V_G leurs vitesses dans la conduite ; A_L et A_G sont les sections ; M_t est le débit massique total ;

- **La vitesse massique :**

La vitesse massique G est donnée par rapport au débit massique et son périmètre, elle est donnée par l'équation suivante :

$$G = \frac{M_t}{A} \quad (1.6)$$

Où $A = A_L + A_G$ est l'aire de la section de la conduite ;

- **Les vitesses massiques des phases :**

Les vitesses massiques du gaz et du liquide sont données par les équations suivantes :

$$G_L = \frac{M_L}{A} \quad (1.7)$$

$$\text{Et : } G_G = \frac{M_G}{A} \quad (1.8)$$

La vitesse massique totale est la somme des deux vitesses massiques gaz-liquide, elle est donné par :

$$G = G_L + G_G \quad (1.9)$$

- **Le débit volumique de l'écoulement diphasique**

Les débits volumiques respectifs des phases liquide et gaz Q_L et Q_G sont donnés par rapport au débit massique et à la masse volumique :

Avec :

$$Q_L = \frac{M_L}{\rho_L} \quad (1.10)$$

$$Q_G = \frac{M_G}{\rho_G} \quad (1.11)$$

$$\text{Et : } Q = Q_L + Q_G \quad (1.12)$$

- **Le titre massique :**

Le titre massique ou réel est égal au rapport du débit massique du gaz et du débit massique total.

$$x = \frac{M}{M_G + M_L} \quad (1.13)$$

Avec M_G et M_L les débits massiques du gaz et du liquide

- **Le titre volumique :**

C'est le rapport du débit volumique du gaz et du débit volumique total

$$\beta = \frac{Q_G}{Q} \quad (1.14)$$

Où Q le débit volumique total et Q_G le débit volumique du gaz.

Les vitesses respectives de la phase liquide et de la phase gazeuse dans la direction de l'écoulement sont:

$$V_L = \frac{M}{\rho_L A_L} = \frac{(1-x)M_t}{\rho_L A_L} \quad (1.15)$$

$$\text{Et : } V_G = \frac{M_g}{\rho_G A_G} = \frac{X M_t}{\rho_G A_G}; \quad (1.16)$$

Les vitesses superficielles respectives de la phase liquide et de la phase gazeuse sont définies par rapport au débit volumique :

$$V_{sg} = \frac{Q_G}{A} = \frac{M_G}{\rho_G A} = \frac{G_G}{\rho_G} = \frac{xG}{\rho_G} \quad (1.17)$$

$$\text{Et : } V_{sl} = \frac{Q_L}{A} = \frac{M_L}{\rho_L A} = \frac{G_L}{\rho_L} = \frac{(1-x)G}{\rho_G} \quad (1.18)$$

Le glissement S est le rapport des vitesses moyennes, dites aussi débitantes, des phases liquide et gazeuse :

$$S = \frac{V_G}{V_L} = \frac{M_G}{\rho_G A_G} \frac{\rho_L A_L}{M_L} = \frac{x}{1-x} \frac{\rho_L A_L}{\rho_G A_G} \quad (1.19)$$

- **La fraction ou le taux de vide :**

Pour une section A perpendiculaire à l'écoulement, la fraction de vide est le rapport entre la surface occupée par le gaz A_G sur la surface totale A :

$$\alpha = A_G / A \quad (1.20)$$

I.2.7 / Équations de base d'un écoulement diphasique :

Dans l'étude des écoulements diphasiques, les équations fondamentales reposent sur des simplifications établies sous forme de deux modèles approchés dits "modèle séparé et modèle homogène" Delhay et al (1981) [9].

Le modèle séparé considère que les deux phases ont des propriétés différentes et suppose que chaque phase s'écoule avec une vitesse uniforme moyennée dans la section. L'autre modèle qui est en fait un cas particulier du modèle séparé ($V_{sg} = V_{sl}$), traite le mélange gaz liquide comme un pseudo fluide monophasique dont les propriétés sont les moyennes du mélange

obéissant aux lois d'un écoulement monophasique. Sur le plan local, les bilans traduisent les principes dits de conservation ou d'évolution :

- bilan de continuité (bilan de masse),
- bilan de quantité de mouvement (torseur de quantité de mouvement ou loi fondamentale de la dynamique),
- bilan de l'énergie totale (premier principe de la thermodynamique),

Soit un écoulement diphasique liquide-gaz à travers une conduite verticale les équations monodimensionnelles de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie d'un écoulement diphasique s'écrivent Delhaye et al (1981) [9]:

❖ **L'équation de la conservation de la masse :**

$$\frac{\partial}{\partial t}((1-\alpha)\rho_L + \alpha\rho_G) + \frac{\partial}{\partial z}((1-\alpha)\rho_L V_L + \alpha\rho_G V_G) = 0 \quad (1.21)$$

❖ **L'équation de la quantité de mouvement :**

$$\frac{\partial}{\partial t}((1-\alpha)\rho_L V_L + \alpha\rho_G V_G) + \frac{\partial}{\partial z}((1-\alpha)\rho_L V_L^2 + \alpha\rho_G V_G^2) + ((1-\alpha)\rho_L + \alpha\rho_G)g + \frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{4\tau}{D} \quad (1.22)$$

❖ **L'équation de l'énergie :**

$$\frac{\partial}{\partial t} \left((1-\alpha)\rho_L \left(e_l + \frac{1}{2}V_L^2 \right) + \alpha\rho_G \left(e_g + \frac{1}{2}V_G^2 \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left((1-\alpha)\rho_L \left(h_l + \frac{1}{2}V_L^2 \right) V_L + \alpha\rho_G \left(h_g + \frac{1}{2}V_G^2 \right) V_G \right) + [(1-\alpha)\rho_L V_L + \alpha\rho_G V_G]g = -4qD \quad (1.23)$$

Tels que

ρ_L et ρ_G sont respectivement la masse volumique de la phase liquide et du gaz, V_L et V_G sont respectivement la vitesse débitante de la phase liquide et de la phase gazeuse, e_l et e_g sont respectivement l'énergie interne de la phase liquide et de la phase gazeuse, h_l et h_g sont respectivement l'enthalpie de la phase liquide et de la phase gazeuse α est le taux de vide, τ est la contrainte de frottement à la paroi P est la pression, q est la densité de flux de chaleur appliquée est l'accélération gravitationnelle,

I.3 / Modèles en écoulement diphasique :

Le mot « modèle » désigne un système d'équations décrivant une certaine image que l'on se donne d'un écoulement diphasique réel Delhaye et al. (1981) [10].

Considérons par exemple un écoulement eau-gaz dans une conduite verticale. Un tel écoulement diphasique n'est jamais strictement axisymétrique et de plus les bulles circulent à vitesse plus élevée que le liquide en raison des forces d'Archimède. En revanche, on peut décider de remplacer l'écoulement réel par une image idéalisée où l'écoulement serait supposé axisymétrique et où les vitesses des deux phases seraient égales. Le modèle mathématique peut être à une ou deux variables d'espace indépendantes selon le type d'équations moyennées que l'on utilisera : moyenne surfacique instantanée ou moyenne temporelle locale.

I.3.1/ Le modèle homogène :

Le modèle homogène fournit la technique la plus simple pour étudier un écoulement diphasique. On détermine les propriétés de mélange est traité comme un fluide qui obéit aux équations usuelles d'un écoulement à un seul composant Delhaye et al. (1981) [10].

Dans ce modèle, on définit des propriétés telles que la vitesse, les propriétés thermodynamiques (température, masse volumique), les propriétés de transport (viscosité) en fonction des propriétés de chacune des phases.

Si la température T est supposée être la température de saturation, on a un écoulement homogène en équilibre.

Dans cette présentation, on se limite à un écoulement monodimensionnel dans un conduit vertical.

I.3.2/Le modèle de drift flux :

Le modèle de drift flux, ou modèle de vitesse de dérive, est un modèle dérivé du modèle HEM. Il porte sur le mélange diphasique mais il autorise une vitesse différente pour chaque phase. L'écart de vitesse est alors donné par une relation algébrique. Il faut maintenant écrire une équation de bilan de masse sur chaque phase ainsi que des équations de bilan sur la quantité de mouvement et l'énergie Bankoff (1958) [11].

I.3.3/Le modèle à deux fluides:

Le modèle à deux fluides est le plus général. Il s'appuie sur des équations de bilan de masse, de quantité de mouvement et d'énergie pour chacune des phases, d'où son appellation de modèle à six équations. Sa grande généralité oblige à le compléter par de nombreuses relations constitutives permettant d'exprimer les transferts de masse, de quantité de mouvement et d'énergie entre les phases Delhayé et al. (1981) [10].

Lorsque le taux de glissement n'est plus faible et que les forces d'interaction entre phases deviennent significatives, on est amené à considérer chaque phase séparément.

I.4/ Conclusion

On a défini dans la première partie de ce chapitre les différentes configurations d'écoulement pour les conduites horizontales (à bulles, à poches, stratifié, à bouchons, annulaire) et aussi pour les conduites verticales (à bulles, à poches, à bouchons, annulaire). Ensuite nous avons essayé de présenter les cartes d'écoulement leur domaine d'utilisation. Et en fin, nous avons présenté les différents modèles mathématiques qui sont utilisés pour l'étude de ce type d'écoulements.

Chapitre II : Présentation du modèle de Petalas et Aziz

II.1/ Introduction

Beaucoup de modèles ont été publiés sur les écoulements diphasiques, mais ils sont applicables pour les écoulements verticaux seulement, tandis que d'autres s'appliquent aux écoulements horizontaux uniquement. Il n'y a pas de nombreux modèles qui développent l'ensemble du spectre des situations d'écoulement qui peuvent être rencontrées dans les opérations liquide-gaz Barnea (1987) [12] et Taitel et Dukler (1976) [13] et Xiao et al (1990) [14]. Pour cela, Petalas et Aziz (1998) [15] ont adapté l'ensemble des modèles afin d'arriver à un modèle qui s'applique pour toutes les sortes de situations (horizontal ou vertical ou incliné).

Dans ce chapitre, nous nous intéressons sur le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] on commence par un rappel sur le modèle après sur les différents types d'écoulement présenté dans ce modèle et ces cartes d'écoulements et les configurations des types d'écoulements.

II.2/ Le modèle de Petalas et Aziz :

Le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] est un modèle qui a été développé afin de surmonter les limitations imposées à l'aide des modèles précédents Barnea (1987) [12] et Taitel et Dukler (1976) [13] et Xiao et al (1990) [14] Andritos (1986) [16] Govier et Aziz (1977) [17] dicté dans le modèle de Pétalas et Aziz (1998) [15]. En utilise se modèle pour tout les régimes d'écoulements (laminaires ou turbulents) dans une conduite horizontal ou vertical et dans toutes les directions (ascendante ou descendante) .Il a été développé en utilisant certaines des corrélations disponibles pour l'écoulement diphasique insatisfaisantes à l'utilisation dans leur modèle et ont développé des nouvelles lois en utilisant des données expérimentales de base de données de l'écoulement diphasique de l'université de Standford.L'information dans cette base de données a tenu compte d'une recherche plus détaillée sur les régimes annulaires, stratifiés et intermittent (à poche, à bulle allongée).

Ce modèle d'écoulement est déterminé en comparant les vitesses superficielles liquides et les vitesses superficielles du gaz aux frontières de régime d'écoulement dicté par le modèle mécaniste de Pétalas et Aziz (1998) selon Xiao et al (1990) [14]. Chaque combinaison particulière a des taux de gaz et de liquide caractérisée une configuration d'écoulement selon l'inclinaison de la conduite figure II.1

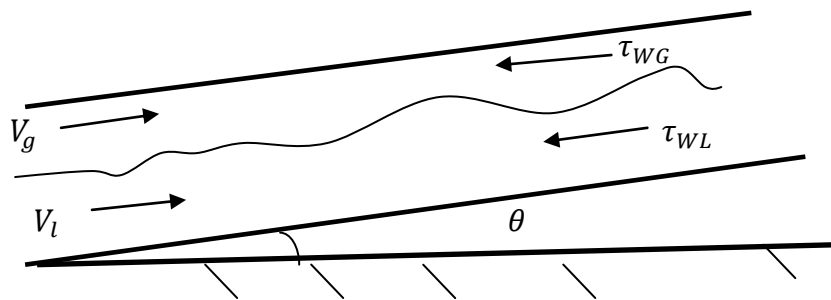


Figure II.1. Figure montre l'angle de l'inclinaison θ dans un écoulement à deux phases

Le Tableau II.1 montre l'influence de l'angle de l'inclinaison θ sur le type d'écoulement, on remarque des nouvelles structures qui apparaissent comme l'écoulement stratifié à ($\theta = 0$).

$\theta=0$	$\theta \geq 0$
<ul style="list-style-type: none"> - Écoulement dispersé à bulles - Écoulement stratifié - Écoulement annulaire - Écoulement à bulle - Écoulement intermittent (à poche ou à bulle allongée) 	<ul style="list-style-type: none"> - Écoulement dispersé à bulle - Écoulement annulaire - Écoulement a bulle - Écoulement intermittent (à poche ou à bulle allongée)

Tableau II.1 : Montre les type des écoulements suivant l'angle θ dans le model de Petalas et Aziz (1998) [15]

- **Les cartes d'écoulement de Petalas et Aziz (1998)**

C'est deux cartes sont établies par Pétales et Aziz (1998) [15] pour les différents configurations d'écoulements gaz-liquide dans une conduite horizontale et verticale.

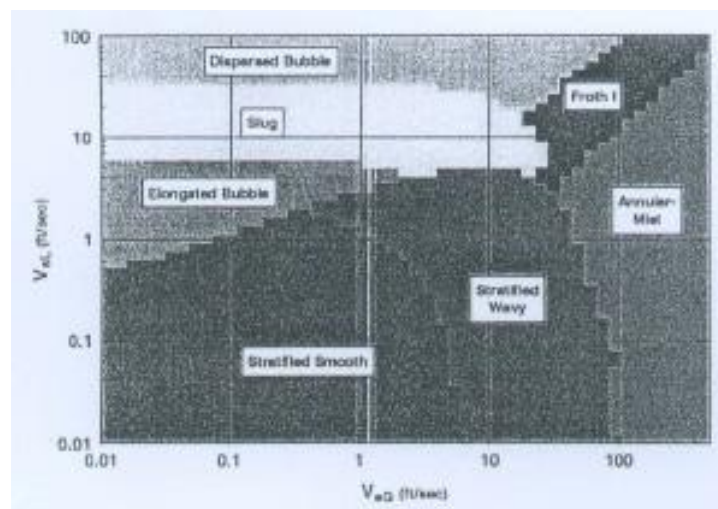


Figure II.2. Carte de Petalas et Aziz lors d'un écoulement gaz-liquide horizontal ($\theta = 0^\circ$)

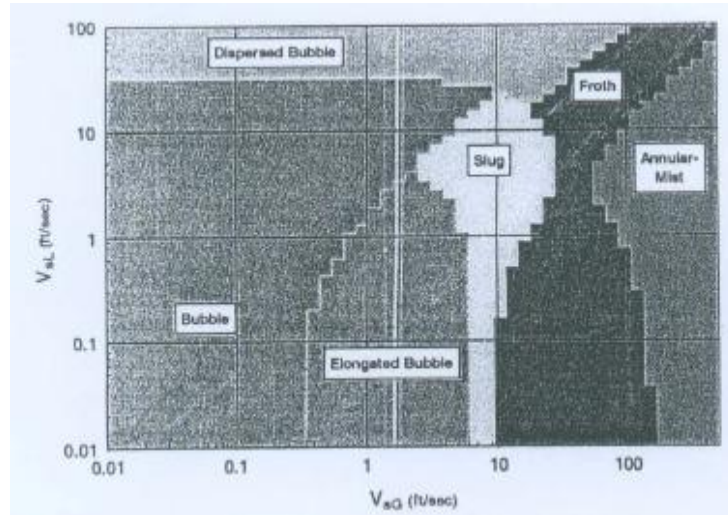


Figure II.3. Carte de Petalas et Aziz lors d'un écoulement gaz-liquide vertical ($\theta = 90^\circ$)

II.2.1 Définition de la fraction volumique :

La fraction volumique E_L se calcule selon la distribution appropriée du mélange gaz-liquide selon Barnea (1987) [12].

Dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] elle se calcule afin d'écrire le type d'écoulement, elle est obtenue pour chaque type d'écoulement par des méthodes standard en utilisant la rugosité de la conduite et le nombre de Reynold définis spécifiquement pour chaque type d'écoulement, sa lois général est donné par :

$$E_L = \frac{A_L}{A} \quad (2.1)$$

Avec A_L la section de la section transversale occupée par la phase liquide et A la surface de la section transversale du tube.

II.3 / La théorie des écoulements diphasiques :

La présence de deux phases gaz-liquide complique considérablement les calculs. C'est les propriétés de liquide qui doivent être prises en considération ainsi que les interactions entre les phases, et les propriétés du mélange doivent être employées, et donc le gaz et les fractions doivent être déterminés.

- **Le facteur de frottement diphasique:**

Selon Beggs et Brill (1973) [18] dans le modèle de Pétalas et Aziz (1998) [15] le facteur de frottement diphasique f peut être obtenu à partir des corrélations multiphasiques d'écoulement. Avant le calculé, on doit calculer le nombre du Reynold Re selon la masse volumique ρ , la viscosité cinématique μ et la vitesse du mélange V_m diphasique et le diamètre de la conduite D . Le nombre de Reynolds est donné par :

$$Re = \frac{\rho V_m D}{\mu} \quad (2.2)$$

Après on calcule le facteur de frottement superficiel f_s qui est donné par :

$$f_s = \frac{16}{Re} \quad (2.3)$$

A la fin on obtient le facteur de frottement diphasique f qui est donné par :

$$f = 0.452 f_s^{0.731} \quad (2.4)$$

- **Masse volumique :**

Le calcul de la masse volumique (ρ) dépend de l'écoulement si l'écoulement est compressible ou incompressible.

- Pour un écoulement mono phasique et incompressible, le calcul de la masse volumique ρ est simplement la masse volumique de la phase.
- Pour un écoulement compressible et diphasique ou multiphasique, les calculs deviennent bien plus compliqués parce que ρ est calculé à partir de plusieurs paramètres comprenant le taux de gaz et de liquide, et du diamètre etc

- **Le taux liquide :**

La fraction volumique (α_L), est le taux de présence du liquide. C'est le taux de remplissage de la phase liquide par rapport à la somme des deux phases selon Gray et al (1978) [40]:

On définit ce taux par :

$$\alpha_L = \frac{A_L}{A} \quad (2.5)$$

Avec A_L la surface de la section transversale occupée par la phase liquide et A la surface de la section transversale de tube.

- **Vitesses superficielles :**

La vitesse superficielle du liquide V_{sl} est définie comme le taux de présence de liquide multiplié par la vitesse de liquide et la vitesse superficielle du gaz V_{sg} est définie comme le taux de présence du gaz multiplié par la vitesse du gaz:

$$V_{sl} = \alpha_L V_L \quad (2.6)$$

Et

$$V_{sg} = (\alpha_L - 1)V_G \quad (2.7)$$

Où V_{sg} est la vitesse superficielle de gaz, V_{sl} la vitesse superficielle du liquide, V_L la vitesse du liquide et V_G la vitesse du gaz.

- **Vitesse du mélange :**

La vitesse du mélange donnée par la somme de la vitesse superficielle du liquide et la vitesse superficielle du gaz

$$V_m = V_{sl} + V_{sg} \quad (2.8)$$

Avec V_m la vitesse du mélange, V_{sl} la vitesse superficielle du liquide et V_{sg} la vitesse superficielle du gaz

- **Fraction du volume d'entrée :**

Les fractions du volume d'entrée sont définies selon Beggs et Brill (1973) [18] comme le rapport de la vitesse superficielle sur la vitesse du mélange :

$$C_L = \frac{V_{sl}}{V_m} \quad (2.9)$$

$$C_G = \frac{V_{sg}}{V_m} \quad (2.10)$$

Là où :

C_G la fraction d'entrée de volume du gaz, C_L la fraction d'entrée de volume du liquide et Q_G le débit du gaz, V_{sg} la vitesse superficielle du gaz, V_{sl} la vitesse superficielle du liquide V_m la vitesse du mélange.

II.4/ Détermination de la configuration d'écoulement :

Le modèle de Petalas et 'Aziz (1998) [15] pour l'écoulement diphasique détermine les configurations, ce modèle d'écoulement détermine les types d'écoulements en comparant les vitesses superficielles gaz-liquide aux frontières pour chaque type d'écoulement.

Une fois le type d'écoulement a été déterminé alors le liquide peut être calculé. Il y a un calcul séparé pour la fraction volumique (E_L) pour chaque type d'écoulement.

Cinq modèles d'écoulements sont définis qui sont présentés ci-dessous :

II.4.1/Écoulement à bulles dispersées :

Selon Gregory et al (1978) [19] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] la fraction volumique du liquide dans l'écoulement à bouchons sa ce calcul selon la loi suivant :

$$\text{On'a : } E_{Ls} = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_m}{8.66}\right)^{1.39}} \quad (2.11)$$

Avec E_{Ls} est la fraction volumique du liquide dans l'écoulement à bouchons, V_m est la vitesse du mélange

➤ L'écoulement à bulles dispersées existe :

Selon Barnea (1987) [12] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] l'écoulement à bulles dispersées existe si :

$$E_{Ls} < 0.48 \quad (2.12)$$

Et si

$$C_G = \frac{V_{sg}}{V_m} \leq 0.52 \quad (2.13)$$

Avec C_G le coefficient de distribution de vitesse dans l'écoulement à bulle dispersée et V_{sg} la vitesse superficielle du gaz.

Avec V_m est calculé selon l'équation (2.8).

II.4.2/ Écoulement stratifié :

Selon Taitel et Dukler (1976) [20] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] h_L est la hauteur du liquide dans l'écoulement annulaire.

Le calcul de la hauteur du liquide sans dimensions (\widetilde{h}_L) se donne par :

$$\widetilde{h}_L = \frac{h_L}{D} \quad (2.14)$$

\widetilde{h}_L la hauteur du liquide sans dimension, D le diamètre de la conduite.

On emploie les équations d'équilibre de bilan phases (gaz – liquide) :

$$-A_L \left(\frac{dp}{dL} \right) - \tau_{WL} S_L + \tau_i s - \rho_L A_L \frac{g}{g_c} \sin \theta = -A_G \left(\frac{dp}{dL} \right) - \tau_{WG} S_G + \tau_i s - \rho_G A_G \frac{g}{g_c} \sin \theta = 0$$

θ est l'angle de l'inclination, A_L est la section du liquide, A_G est la section du gaz et τ_{WL} est la contrainte de cisaillement entre le mur et liquide et τ_{WG} est la contrainte de cisaillement entre le mur et le gaz, s la longueur de l'interface gaz-liquide, S_L le périmètre du liquide et S_G le périmètre du gaz.

Les contraintes de cisaillement pour l'écoulement stratifié d'écoulement sont calculées d'après :

$$\tau_{WG} = \frac{f_G \rho_G V_G^2}{2g_c} \quad (2.15)$$

$$\tau_{WL} = \frac{f_L \rho_L V_L^2}{2g_c} \quad (2.16)$$

$$\tau_i = \frac{f_i \rho_G V_i^2}{2g_c} \quad (2.17)$$

Avec : τ_i est l'effort de cisaillement de l'interface et V_i est la vitesse de l'interface gaz-liquide, f_L le facteur de frottement pour l'interface de liquide, f_G le facteur de frottement à l'interface de gaz et f_i le facteur de frottement à l'interface gaz-liquide.

Là où V_i est donnée par :

$$V_i = V_G + V_L \quad (2.18)$$

Le facteur de frottement à l'interface du liquide, f_L est déterminé en utilisant, la rugosité de la conduite et le nombre du Reynold suivant :

$$Re_L = \frac{\rho_L V_L D_L}{\mu_L} \quad (2.19)$$

Le facteur du frottement du liquide f_L , est donnée par :

$$f_L = 0.452 f_{SL}^{0.731} \quad (2.20)$$

Le facteur du frottement superficiel f_{SL} , est obtenu à partir d'une méthode standard en utilisant la rugosité et le nombre de Reynolds superficiel du liquide :

$$Re_{SL} = \frac{\rho_L V_{sl} D}{\mu_L} \quad (2.21)$$

$$f_{SL} = \frac{16}{Re_{SL}} \quad (2.22)$$

Le facteur de l'interface gaz-liquide, f_i est donné par :

$$f_i = (0.004 + 0.5 \times 10^{-6} Re_{SL}) Fr_L^{1.335} \left\{ \frac{\rho_L D g}{\rho_G V_G^2} \right\} \quad (2.23)$$

Avec Fr_L est le nombre de Froude liquide, V_G est la vitesse du gaz, Re_{SL} est le nombre de Reynolds superficiel du liquide

Le nombre de Froude est donné par :

$$Fr_L = \frac{V_L}{\sqrt{g h_L}} \quad (2.24)$$

Et V_G est donné par :

$$V_G = \left(1 - \frac{h_L}{D}\right) \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_G)gA_G \cos \theta}{\rho_G \frac{dA_L}{dh_L}}} \quad (2.25)$$

ρ_G la masse volumique du gaz, A la section du passage des deux liquide et h_L est la hauteur du liquide dans l'écoulement stratifié et θ est l'angle de inclination.

➤ L'écoulement stratifié existe si :

Selon Barnea (1987) [12] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] l'écoulement stratifié existe si la vitesse du liquide est inférieure ou égale le rapport donné selon l'équation (2.26) et le nombre de Froude fois le rapport donné selon l'équation (2.27) inférieure ou égale à 1 :

$$V_L \leq \sqrt{gD \frac{(1-\widetilde{h}_L) \cos \theta}{f_L}} \quad (2.26)$$

$$Fr^2 \left[\frac{1}{c^2 \bar{A}_G} V_G^2 \frac{d\bar{A}_L}{d\widetilde{h}_L} \right] \leq 1 \quad (2.27)$$

Avec \widetilde{h}_L la hauteur de liquide sans dimension, C coefficient de distribution, \bar{A}_G la section du gaz sans dimension, \bar{A}_L la section du liquide sans dimension

\bar{A}_L et \bar{A}_G sont donnés par :

$$\bar{A}_L = \frac{A_L}{D^2} \quad (2.28)$$

$$\bar{A}_G = \frac{A_G}{D^2} \quad (2.29)$$

Quant ($\theta = 0^\circ$)

Pour distinguer l'écoulement stratifiés lisse et l'écoulement stratifiés a vague selon Taitel et Dukler (1976) [20] le model de Xiao et al (1990) [14] le model de Andritos (1986) [21] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15]

➤ L'écoulement stratifié lisse existe :

L'écoulement stratifié lisse existe selon Taitel et Dukler (1976) [20] et Bernea (1987) [12] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] si la vitesse du gaz V_G et le nombre de Froude F_r :

$$V_G \leq \sqrt{\frac{4\mu_L(\rho_L - \rho_G)g \cos \theta}{s\rho_L\rho_G V_L}} \quad (2.30)$$

Et

$$F_r = \frac{V_L}{\sqrt{gh_L}} \leq 1.4 \quad (2.31)$$

Avec : F_r est le nombre de Froude, V_L la vitesse du liquide, h_L la hauteur du liquide s la longueur de l'interface, μ_L est la viscosité dynamique du liquide ρ_L est la masse volumique du liquide ρ_G est la masse volumique du gaz et θ est l'angle de inclination.

Et selon Bernea (1987) [12] et le model de Xiao et al (1990) [14] et le model de Andritos (1986) [21] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15]

L'écoulement stratifié à vague existe si la vitesse du gaz V_G et le nombre de Froude F_r sont donnés par:

$$V_G \geq \sqrt{\frac{4\mu_L(\rho_L - \rho_G)g \cos \theta}{s\rho_L\rho_G V_L}} \quad (2.32)$$

$$F_r = \frac{V_L}{\sqrt{gh_L}} \geq 1.4 \quad (2.33)$$

Avec : F_r est le nombre de Froude, V_L la vitesse du liquide, h_L la hauteur du liquide et s la longueur de l'interface, μ_L est la viscosité dynamique du liquide ρ_L est la masse volumique de liquide ρ_G est la masse volumique de gaz

II.4.3/ Ecoulement annulaire:

L'écoulement annulaire est basé sur le travail de Taitel et Dukler (1976) [20] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] suivant des deux équations:

$$-A_f \left(\frac{dp}{dL} \right) - \tau_{WL} S_L + \tau_i s - \rho_L A_L \frac{g}{g_c} \sin \theta = 0 \quad (2.34)$$

$$- A_c \left(\frac{dp}{dL} \right) - \tau_i s - \rho_c A_c \frac{g}{g_c} \sin \theta = 0 \quad (2.35)$$

A_f la section du film liquide et A_c la section pour les noyaux gazeuses, A_L la section du liquide et τ_{WL} est l'effort de cisaillement entre le mur et liquide. s la longueur de l'interface gaz-liquide, S_L le périmètre du liquide et θ est l'angle de inclination.

Les contraintes de cisaillement pour l'écoulement annulaire est déterminés en utilisant les rapports suivants :

$$\tau_{WL} = \frac{f_f \rho_L V_L^2}{2g_c} \quad (2.36)$$

$$\tau_i = \frac{f_i \rho_c (V_c - V_f) |V_c - V_f|}{2g_c} \quad (2.37)$$

Avec : f_f le facteur de frottement pour le film liquide, f_i le facteur frottement de l'interface gaz-liquide, V_c la vitesse des noyaux gazeuses, ρ_c est la masse volumiques des noyaux gazeuses V_f la vitesse du film liquide.

Le facteur de frottement pour le film liquide f_f est employer dans des méthodes standard en utilisant le nombre de Reynolds du film liquide:

$$Re_f = \frac{\rho_L V_f D_f}{\mu_L} \quad (2.38)$$

Le facteur frottement de l'interface gaz-liquide f_i et la fraction liquide entraîné FE doivent également être déterminés. Ceux-ci sont définis par ses rapports

$$\frac{FE}{1-FE} = 0.735 N_B^{0.074} \left(\frac{V_{SG}}{V_{SL}} \right)^{0.2} \quad (2.39)$$

$$\frac{f_i}{f_c} = 0.24 \left\{ \frac{\sigma}{\rho_c V_c^2 D_c} \right\}^{0.085} Re_f^{0.305} \quad (2.40)$$

Ou :

σ la tension surfacique, f_c le facteur frottement pour les noyaux gazeuses et V_c la vitesse des noyaux gazeuses. ρ_c la masse volumiques des noyaux gazeuses et D_c le diamètre des noyaux gazeuses, Re_f le nombre de Reynolds du film liquide.

La ou le un nombre de Gray N_B est définie comme :

$$N_B = \frac{\mu_L^2 V_{sg}^2 \rho_G}{\sigma^2 \rho_L} \quad (2.41)$$

Avec :

μ_L la viscosité dynamique du liquide, σ la tension surfacique, liquide ρ_L est la masse volumique de liquide ρ_G est la masse volumique de gaz, V_{sg} la vitesse superficiel du gaz.

➤ L'écoulement annulaire existe si :

On' à δ_L est l'épaisseur de film liquide

– L'épaisseur de film liquide sans dimensions ($\widetilde{\delta}_L$) est donné par :

$$(\widetilde{\delta}_L) = \frac{\delta_L}{D} \quad (2.42)$$

E_L est déterminée en utilisant des considérations géométriques et une épaisseur liquide connue, par l'équation suivante :

$$E_L = 1 - \left(1 - 2\widetilde{\delta}_L\right)^2 \frac{V_{sg}}{V_{sl} + FE V_{SL}} \quad (2.43)$$

FE la fraction du liquide entraîné, $\widetilde{\delta}_L$ l'épaisseur de film liquide sans dimensions

$$\widetilde{\delta}_L < \widetilde{\delta}_{Lmax} \quad (2.44)$$

Et si :

$$E_L \leq 0.24 \quad (2.45)$$

Ou $\widetilde{\delta}_{Lmax}$ est déterminé à partir des équations suivantes :

$$2f_f \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_c} \frac{V_{sl}^2 (1 - FE)^2}{gD \cos \theta} = \frac{E_f^3 \left(1 - \frac{3}{2} E_f\right)}{2 - \frac{3}{2} E_f} \quad (2.46)$$

$$E_f = \frac{A_f}{A} = 4\widetilde{\delta}_L (1 - \widetilde{\delta}_L) \quad (2.47)$$

f_f , est le facteur diphasique de frottement du film liquide. A_f la section du film liquide.

II.4.4/ Ecoulement à bulles :

Selon Taitel et Dukler (1976) [20] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] l'écoulement de bulle existe si le diamètre D :

$$D > 19 \left[\frac{(\rho_L - \rho_G)\sigma}{\rho_L^2 g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.48)$$

Avec : ρ_L est la masse volumique de liquide ρ_G est la masse volumique de gaz, σ la tension surfacique,

Et si $(\cos\theta)$ selon Barnea et al (1985) [22] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] la condition est donné par:

$$\cos\theta \leq \frac{3}{4\sqrt{2}} V_b^2 \left(\frac{C_1 \gamma^2}{g d_b} \right) \quad (2.49)$$

Avec : θ est l'angle de inclination, V_b la vitesse de la bulle, d_b le diamètre de la bulle, C_1 le coefficient de distribution

Selon le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] V_b donnés par l'équation ci-dessous :

$$V_b = 1.41 \left[\frac{g(\rho_L - \rho_G)\sigma}{\rho_L^2} \right]^{\frac{1}{4}} \sin \theta \quad (2.50)$$

θ est l'angle de inclination, ρ_L est la masse volumique de liquide ρ_G est la masse volumique de gaz, σ la tension surfa et g est gravité.

Et si :

Selon Govier et Aziz (1977) [17] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] la transition d'écoulement de bulle se produit quand :

$$E_L > 0.75 \quad (2.51)$$

Avec :

$$E_L = \frac{E_{LS}V_l + V_{Gdb}(1 - E_{LS}) - V_{sg}}{V_l} \quad (2.52)$$

Avec V_l la vitesse de la transition de l'écoulement à bulle allongée, V_{Gab} la vitesse des bulles dispersées.

Selon Zuber et Findlay (1965) [23] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] la vitesse de la transition de l'écoulement à bulle allongée V_l est donné par :

$$V_l = C_1 V_m + V_b \quad (2.53)$$

V_b la vitesse de la bulle, V_m la vitesse du mélange gaz-liquide, C_1 le coefficient de distribution

Et selon le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] la vitesse des bulles dispersées V_{Gab} est donné par :

$$V_{Gab} = C_1 V_m + V_b \quad (2.54)$$

Et le coefficient de distribution C_1 selon Zuber et Findlay (1965) [23] dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] est donné par :

$$C_1 = (1.64 + 0.12 \sin \theta) Re_{mL}^{-0.031} \quad (2.55)$$

II.4.5/ Écoulement intermittent :

L'écoulement intermittent c'est l'écoulement à poche ou à bulle allongée.

Là où V_t est la vitesse de translation selon le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] est donné par :

$$V_t = C_0 V_m + V_d \quad (2.56)$$

Et la vitesse des bulles allongées V_d selon le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] est donné par :

$$V_d = f_f V_{b\infty} \quad (3.57)$$

Avec V_d la vitesse des bulles allongées, f_f le facteur diphasique de frottement du film liquide

$$\text{Et : } V_{Gdb} = C_0 V_m + V_b \quad (2.58)$$

La vitesse de la bulle V_b dans l'écoulement intermittent a poches ou a bulles allongées est donné par :

$$V_b = 1.53 \left[\frac{g(\rho_L - \rho_G)\sigma}{\rho_L^2} \right]^{\frac{1}{4}} \sin \theta \quad (2.59)$$

θ est l'angle de inclination, ρ_L est la masse volumique de liquide ρ_G est la masse volumique de gaz, σ la tension surfacique et g est gravité.

➤ L'écoulement intermittent existe selon Govier et Aziz (1972) [24] si:

$$E_L > 0.24 \quad (2.60)$$

E_L la fraction volumique du liquide est donné par Govier et Aziz (1972) [24]:

$$E_L = \frac{E_{LS}V_l + V_{Gdb}(1 - E_{LS}) - V_{sg}}{V_l} \quad (2.61)$$

Ou :

$$V_m = V_{sg} + V_{sl}$$

Et selon Pétales et Aziz (1998) [15] l'écoulement à poches et l'écoulement à bulles allongées sont donnés par :

Si $E_L > 0.24$ et $E_{LS} \leq 0.9$ l'écoulement est à poches

Si $E_L > 0.24$ et $E_{LS} > 0.9$ l'écoulement est à bulles allongées

Et selon Gregory et al (1978) [19] E_{LS} dans le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] la fraction volumique de liquide à poche est donné par :

$$E_{LS} = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_m}{8.66}\right)^{1.39}} \quad (2.62)$$

II.4.6/ Écoulement à mousse :

Si aucun des critères de transition pour l'écoulement intermittent n'est rencontré, le modèle d'écoulement est alors indiqué en tant que "mousse"

Et selon Pétales et Aziz (1998) [15] est donné par :

Si

$$E_L < 0.24 \quad (2.63)$$

Donc l'écoulement est à mousse.

II.5/ Conclusion

Chacune de ces corrélations précédente Barnea (1987) [12] et Taitel et Dukler (1976) [13] et Xiao et al (1990) [14].....etc , ont été développé pour son propre ensemble unique des conditions expérimentales ou conçus en utilisant une approche de modélisation mécaniste, et par conséquence, les résultats varient entre eux selon le type d'écoulement.

Le but de ce chapitre se faire exposé le model de Pétales et Aziz (1998) [15] qu'il a été développé afin de surmonter les limitations imposées par l'aide des corrélations précédentes, de fournir un modèle qui est plus robuste que les autres modèles et peut être utilisé pour prédire les types d'écoulements dans les conduites sur une gamme plus étendue de conditions.

Chapitre III : Exploitation du modèle de Petalas et Aziz

III.1/ Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons exposé le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15] dans les écoulements à deux phases. Nous avons également présenté les principaux paramètres existants du modèle, ainsi que les conditions nécessaires pour établir les différentes configurations d'écoulement.

Dans mon contexte, l'application du modèle étudié va être réalisée par un programme informatique qui prend en considération tous les paramètres et les conditions du modèle afin d'assurer l'efficacité des résultats (type d'écoulement). Ce programme va nous être utile, dans la mesure de la comparaison des types d'écoulements donnés par le programme par rapport à la carte d'écoulement de Petalas et Aziz (1998) [15], dans le cas d'un écoulement gaz-liquide. Par la suite, on déterminera des intervalles déterminant les types d'écoulement à partir des valeurs données.

III.2/ Description de la géométrie du canal :

Il s'agit d'un tube où l'écoulement est selon l'angle θ (figure III-1). Dans ce tube circulant deux fluides l'un gazeux G, l'autre liquide L:

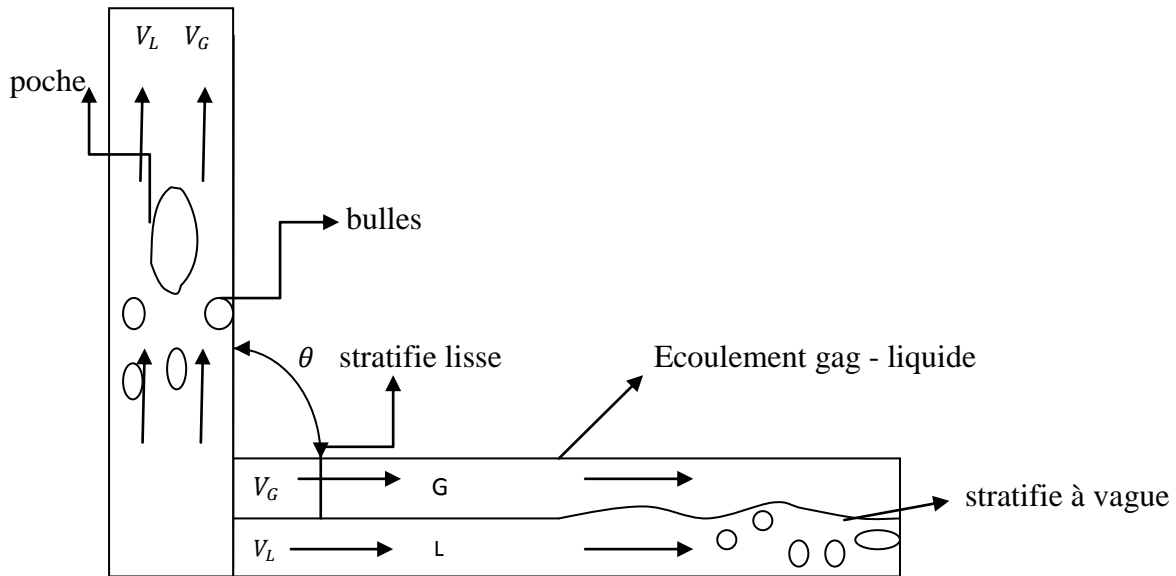


Figure III.1 : Les différentes configurations dans une conduite horizontale et verticale.

La figure (III.1) représente les configurations de l'écoulement à deux phases gaz-liquide dans une conduite horizontale et verticale.

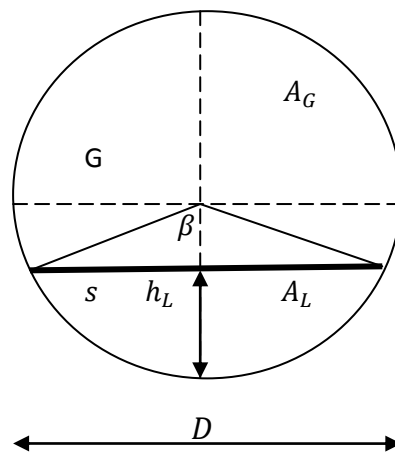


Figure III.2 : Géométrie de la conduite pour un écoulement stratifié.

La figure (III.2) représente la géométrie de l'écoulement à deux phases gaz-liquide stratifié dans une conduite horizontale, G représente le gaz et L représente le liquide

Les paramètres indiqués dans la figure (III.2) sont calculés à partir des relations suivantes :

$$h_L = \frac{D}{2} (1 - \cos \frac{\beta}{2}) \quad (3.1)$$

$$s = R \sin \frac{\beta}{2} \quad (3.2)$$

Avec $R = D/2$

$$A_G = (1 - \alpha) A_T \quad (3.3)$$

$$A_T = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (3.4)$$

$$A_L = A_T - A_G \quad (3.5)$$

Ou h_L est la hauteur du liquide, s la longueur de l'interface gaz-liquide, A_T la section total du passage de l'écoulement, A_G est la section du gaz, A_L est la section du liquide, α est le taux de vide, R le rayon du cylindre et β l'angle relatif à la hauteur du liquide.

La configuration de l'écoulement à deux phases gaz-liquide dépend de plusieurs conditions parmi les quelles :

L'angle de l'inclinaison de tube θ Le diamètre de tube D ,La masse volumique de liquide ρ_L ,La masse volumique de gaz ρ_G ,La viscosité de liquide μ_L , et aussi les propriétés des fluides utilisant dans notre cas.

Le tableau III.1 montre quelque propriété pour le fluide gaz-liquide

	Air/eau
Masse volumique de gag ρ_G	1.28 kg/m ³
La masse volumique de liquide ρ_L	1000.0kg/m ³
Viscosité de liquide μ_L	0.001kg/ms
Tension surfacique σ	0.0744N/m

Tableau III.1 : Propriétés de fluide(gaz-liquide)

III.3/ L'objectif :

L'objectif principal de cette étude c'est prenant en considérations les paramètres et les conditions du modèle de Pétales et Aziz (1998) [15] afin de connaître la configuration d'écoulement dans laquelle on se trouve, et cela, à partir des deux vitesses superficielles du gaz et du liquide.

III.4/ Procédure de calcul :

Les modèles sont généralement utilisés pour faciliter l'obtention de résultats possibles. Un modèle comporte toujours de un ou plusieurs inconnus.

Dans le modèle de Pétales et Aziz (1998) [15] on trouve qu'il y'a plusieurs inconnus a les calculé pour a teindre notre but.

L'ensemble de ce modèle comporte trois inconnus principales qui sont : la fraction volumique du liquide E_L , la hauteur du liquide dans l'écoulement stratifié h_L , l'épaisseur de film liquide δ_L , qui sont donnés par :

- la fraction volumique E_L ,

$$E_L = \frac{A_L}{A} \quad (3.6)$$

-la hauteur de liquide h_L ,

$$h_L = \frac{D}{2} (1 - \cos \frac{\beta}{2}) \quad (3.7)$$

- l'épaisseur de film liquide δ_L ,

$$\delta_L = (\widetilde{\delta}_L) D \quad (3.8)$$

III.4.1/ Méthode de calcul :

Dans le cadre de cette étude, on calcule fraction volumique du liquide pour chaque type d'écoulement, la fraction volumique est donc calculé selon le type d'écoulement les différents paramètres qui influent sur elle, ou les vitesses superficielles du liquide et du gaz sont imposés.

La figure III.3 montre les données ($\theta, D, g, V_{sl}, V_{sg}, \mu_L, \rho_L, \rho_G, \sigma, \gamma, d_b, \beta$) et les différents paramètres de calcul (V_m, V_L, V_G, F_r), afin de calculer la fraction volumique du liquide pour chaque type d'écoulement

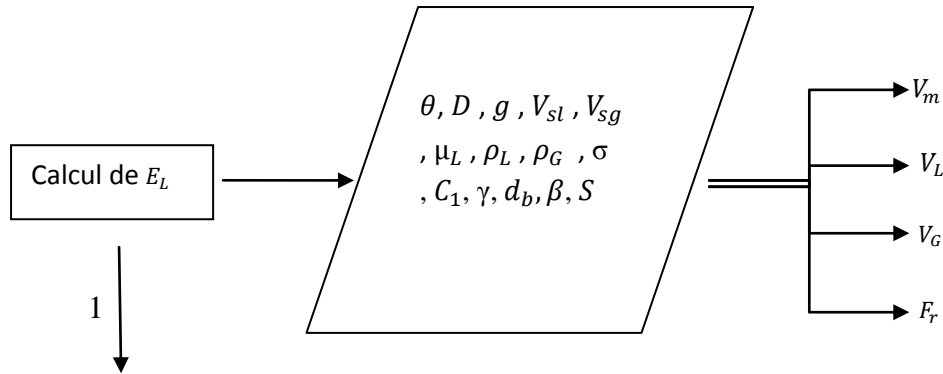


Figure III.3 : Organigramme de détermination de la fraction volumique

F_r est le nombre de Froude, V_L la vitesse du liquide, V_G la vitesse du gaz, V_m la vitesse du mélange, et s la longueur de l'interface, μ_L est la viscosité dynamique du liquide, ρ_L est la masse volumique de liquide, ρ_G est la masse volumique de gaz et θ est l'angle de inclinaison, β l'angle relatif à la hauteur du liquide, d_b diamètre de la bulle, C_1 coefficient de distribution gaz-liquide.

La figure (III.4) montre en tenant compte des nouveaux paramètres à calculer la hauteur du liquide (\widetilde{h}_L) et l'épaisseur du film liquide ($\widetilde{\delta}_L$) pour avoir le type d'écoulement.

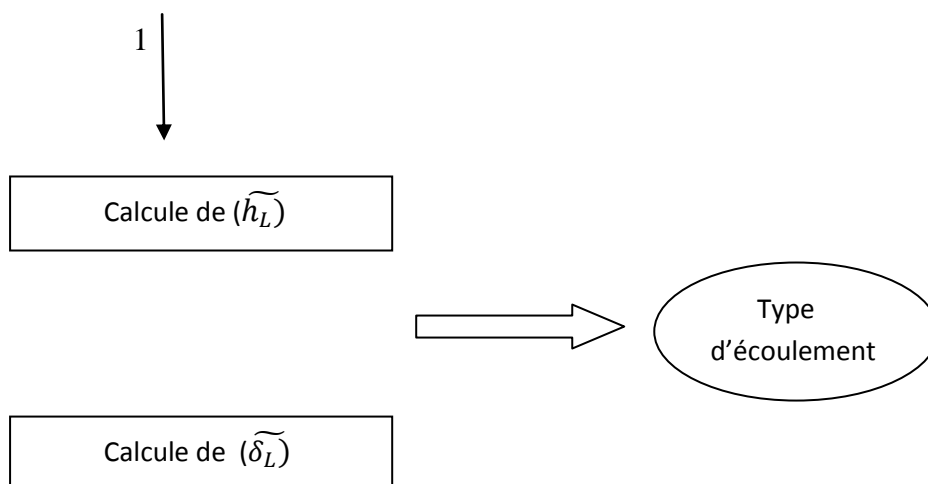


Figure III.4: Montre les nouveaux paramètres à calculer.

III.4.2 /Cote des déferents types d'écoulements :

Introduction

Comme il a été déjà évoqué, le but est de vérifier la condition mise en œuvre par Petalas et Aziz pour tout les types d'écoulements, donnant des vitesses superficielle du liquide et du gaz selon les cartes d'écoulements lors d'un écoulement horizontal et vertical. Par les résultats obtenus, nous allons définir des intervalles des conditions proposés.

III4.2.1/ Ecoulement a bulles dispersées :

Introduction

Notre but est de donné les vitesses superficielle du liquide et du gaz selon les cartes d'écoulements lors d'un écoulement horizontal et vertical. Par les résultats obtenus, nous allons définir des intervalles des deux conditions ; vitesses superficielles du liquide et du gaz, pour lesquelles on se trouve dans le cas d'un écoulement à bulles dispersées.

Comme suit à : $\theta \geq 0^\circ$:

On calcule d'abord la fraction volumique du liquide à poche E_{LS} elle donné par :

$$E_{LS} = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_m}{8.66}\right)^{1.39}} \quad (3.9)$$

Si : $E_{LS} < 0.48$

On calcule après la vitesse d'entrée du gaz C_G elle donné par :

$$C_G = \frac{V_{SG}}{V_m} \quad (3.10)$$

D'où : la vitesse du mélange V_m est donné par :

$$V_m = V_{sl} + V_{sg} \quad (3.11)$$

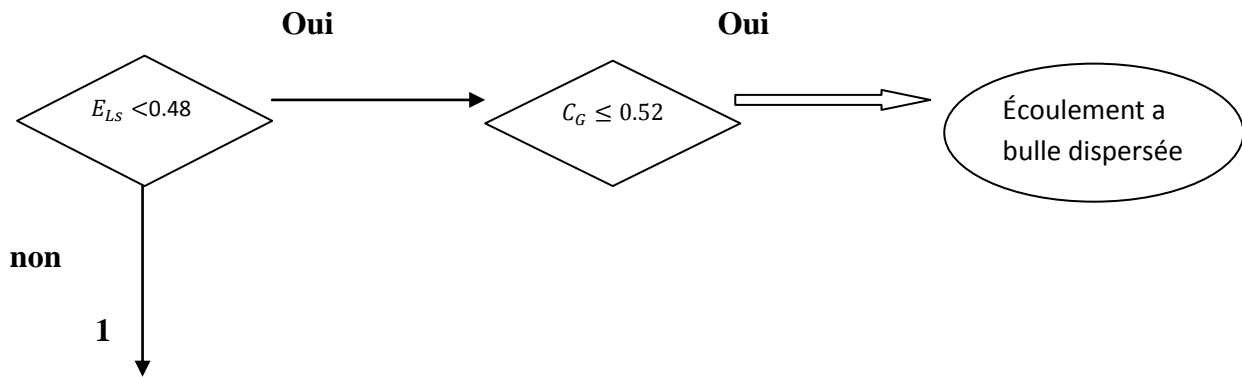


Figure III.7 : Détermination de la configuration de l'écoulement à bulles dispersées

But

Ce qu'on peut conclure est que si le programme réalisé donne de bons résultats pour l'écoulement à bulle dispersée dans le cas horizontal à l'intervalle V_{sl} comprises entre (50-100) et de V_{sg} entre (0.01-100) comme dans le cas vertical dans les intervalles où V_{sl} prenant des valeurs de (50-100) et une V_{sg} de (0.01-100), une constatation faite à partir de la comparaison avec les cartes des écoulements proposés par les concepteurs du modèle. Ce que l'on peut constater également est la fiabilité du programme effectué.

III.4.2.2 Ecoulement stratifié :

Introduction

Dans la carte d'écoulement de la figure (II.2) à ($\theta = 0^\circ$), l'apparition de l'écoulement stratifié est comprise entre les valeurs de V_{sl} pour un intervalle (0.01-1.5) (ft/s) et V_{sg} pour un intervalle de (0.01-100) (ft/s). Notre but est de vérifier ce type d'écoulement selon les équations mises en œuvre par Petalas et Aziz mise en fonctions.

$A (\theta = 0)$

En calcule d'apport la hauteur du liquide h_L et selon la hauteur du liquide on peut avoir la hauteur du liquide sans dimension \widetilde{h}_L après on calcule la vitesse du liquide V_L , la vitesse du gaz V_G , le taux de liquide α , la section du liquide A_L , la section du gaz A_G , le nombre de Froude F_r .

La mise en équation :

Avec $\widetilde{h}_L = \frac{h_L}{D}$ (3.12)

Et d'après l'équation (3.1) : $h_L = \frac{D}{2} (1 - \cos \frac{\beta}{2})$

$$V_L = \frac{V_{sl}}{\alpha} \quad (3.13)$$

$$V_G = \frac{V_{sg}}{1-\alpha} \quad (3.14)$$

$$\alpha = (\beta - \sin\beta)/2\pi \quad (3.15)$$

On' a : $\widetilde{A}_G = \frac{A_G}{D^2}$ (3.16)

Et : $A_G = (1-\alpha) A_T$ (3.17)

$$A_T = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (3.18)$$

Avec $A_L = A_T - A_G$ (3.19)

Et $F_r = \frac{V_L}{\sqrt{gh_L}}$ (3.20)

$$C = (1.64 + 0.12\sin\theta)Re_{mL}^{-0.031} \quad (3.21)$$

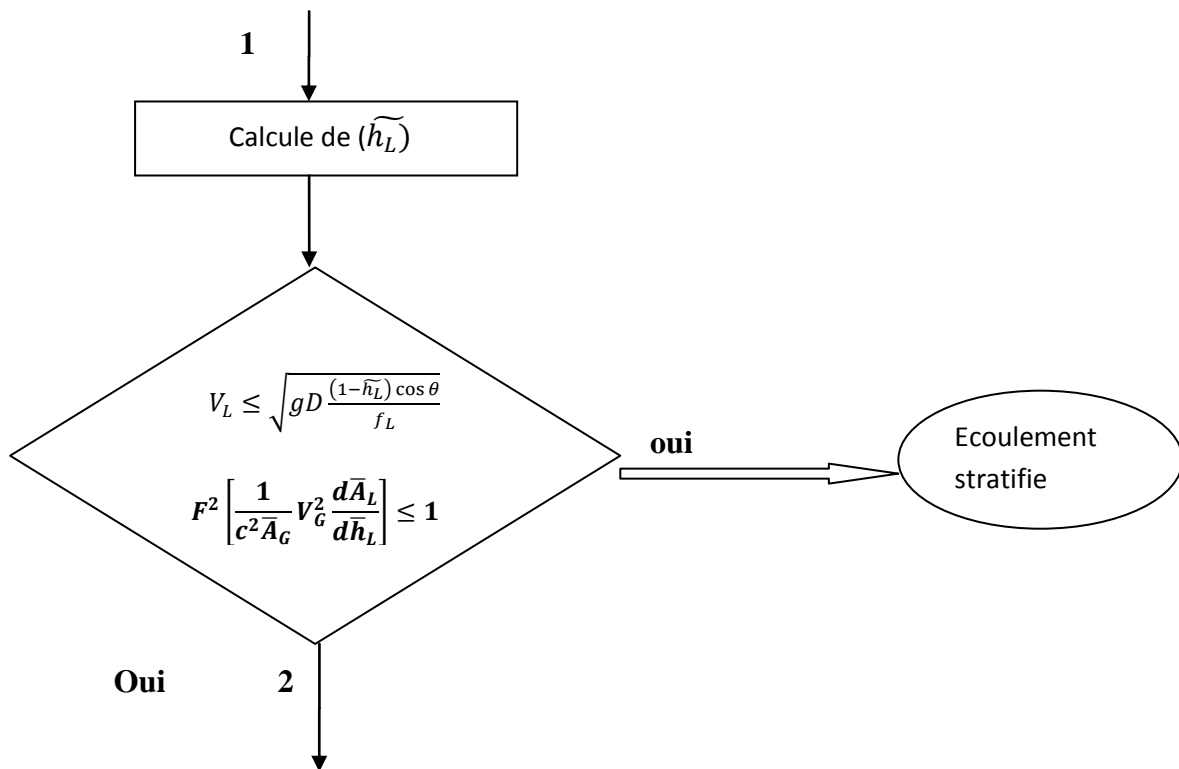


Figure III.8: Détermination de la configuration pour l'écoulement stratifié.

But :

Deux points essentiels peuvent être retenus dans cette partie du travail, le premier si la vraisemblance des résultats obtenus à l'aide du programme informatique avec l'information que démontre la carte d'écoulement du modèle étudié, le deuxième si la fiabilité du programme va être réalisé.

1. Stratifié lisse :**Introduction**

L'écoulement stratifié est de deux types, on aura besoin donc de les classer : l'écoulement stratifié lisse et l'écoulement stratifié à vague. La classification consiste à vérifier les conditions de Pétales et Aziz pour les deux types en procédant avec la même démarche faite pour les autres types d'écoulement, qui veut dire comparer les résultats du tableau (III.2) et avec la carte des écoulements de la figure (II.2).

Si la vitesse du gaz V_G :

$$V_G \leq \sqrt{\frac{4\mu_L(\rho_L - \rho_G)g \cos \theta}{s\rho_L\rho_G V_L}} \quad (3.22)$$

Ou s la longueur de l'interface gaz-liquide est donné par :

$$s = 2 \frac{D}{2} \sin \frac{\beta}{2} \quad (3.23)$$

Et si le nombre de Froude F_r

$$F_r = \frac{V_L}{\sqrt{gh_L}} > 1.4 \quad (3.24)$$

Donc l'écoulement est stratifié lisse.

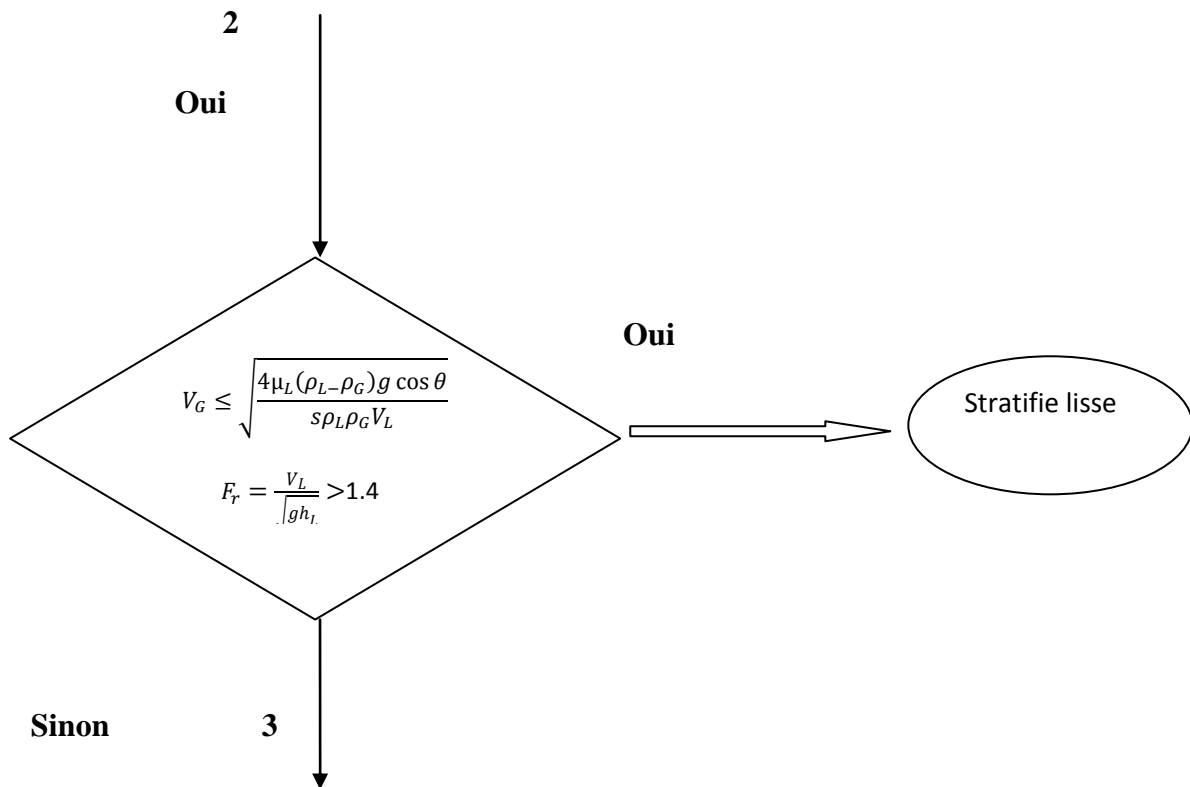


Figure III.9: Détermination de la configuration pour le stratifie lisse

2. Stratifie à vague :

Introduction

Dans la carte d'écoulement et à ($\theta = 0^\circ$), la représentation de l'écoulement stratifié à vague est saisie entre les valeurs de V_{sl} pour un intervalle (0.01-1.5) (ft/s) et V_{sg} pour un intervalle de (10-100) (ft/s). Notre but est de vérifier ce type d'écoulement selon les équations mises en œuvre par Petalas et Aziz et la mise en fonctions par le programme informatique.

Si la vitesse du gaz V_G :

$$V_G \geq \sqrt{\frac{4\mu_L(\rho_L-\rho_G)g \cos \theta}{s\rho_L\rho_GV_L}}$$

Et si le nombre de Froude F_r ,

$$F_r = \frac{V_L}{\sqrt{gh_L}} < 1.4$$

Donc l'écoulement est stratifié à vague.

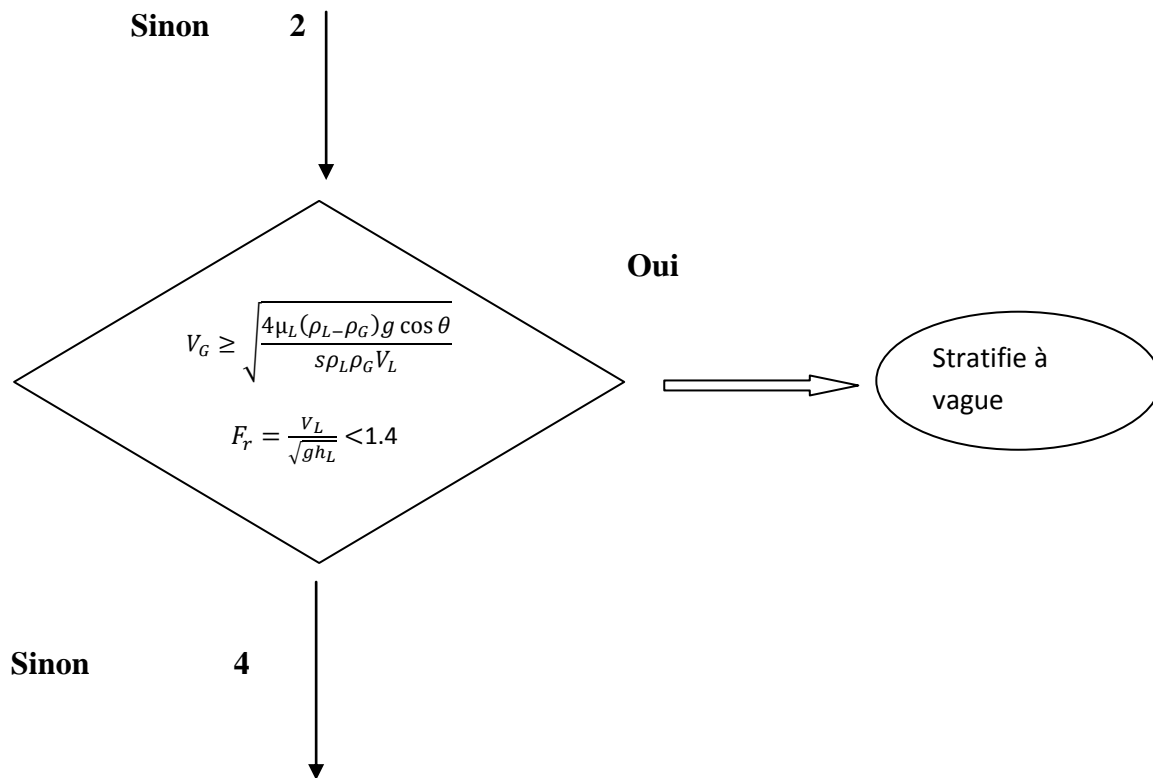


Figure III.10 : Détermination de la configuration pour le stratifié à vague

But :

Une fois de plus, on veut vérifier les conditions de Pétales et Aziz pour un écoulement stratifié lisse et à vague par la comparaison des résultats que l'on aura obtenus du programme avec la carte d'écoulement du type approprié. Également, nous voulons obtenir une fiabilité du programme réalisé.

III.4.3 Écoulement annulaire :

Introduction

Selon la carte d'écoulement et à ($\theta = 0^\circ$), le cas de l'écoulement annulaire est compris entre les valeurs de V_{sl} pour un intervalle (0.01-100) (ft/s) et V_{sg} pour un intervalle de (100-200) (ft/s) tandis que pour la condition ($\theta = 90^\circ$), l'écoulement annulaire est compris entre les valeurs de V_{sl} pour un intervalle (0.01-100) (ft/s) et V_{sg} pour un intervalle de (20-200) (ft/s). Notre but est de vérifier ce type d'écoulement selon les équations mises en œuvre par Petalas et Aziz et la mise en fonctions par le programme informatique

Pour l'écoulement annulaire on doit calculé tout d'abord l'épaisseur de film liquide sans dimension $\widetilde{\delta}_L$ après la fraction volumique du liquide E_L .

La mise en équation :

$$(\widetilde{\delta}_L) = \frac{\delta_L}{D} \quad (3.17)$$

$$\widetilde{\delta}_L = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{(1 - E_L) \frac{(FE V_{sl} + V_{sg})}{V_{sg}}} \right] \quad (3.18)$$

Avec

$$\frac{FE}{1-FE} = 0.735 N_B^{0.074} \left(\frac{V_{SG}}{V_{SL}} \right)^{0.2} \quad (3.19)$$

$$E_L = \frac{E_{LS} V_l + V_{Gdb} (1 - E_{LS}) + V_{sg}}{V_l} \quad (3.20)$$

Avec V_l la vitesse de la transition des bulles allongées, V_{Gdb} la vitesse des bulles dispersées et C le coefficient de distribution gaz-liquide sont données par :

$$V_l = C V_m + V_d \quad (3.21)$$

$$V_{Gdb} = C V_m + V_b \quad (3.22)$$

$$C = (1.64 + 0.12 \sin \theta) Re_{mL}^{-0.031} \quad (3.23)$$

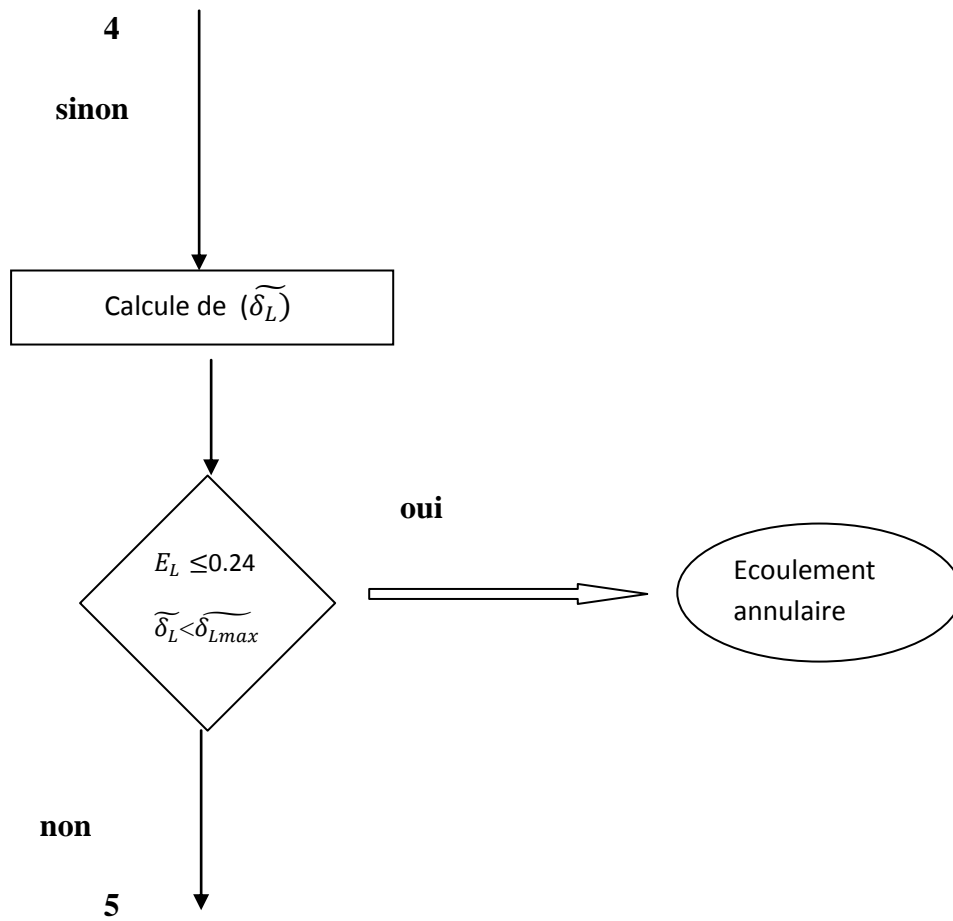


Figure III.11 : Détermination de la configuration pour l'écoulement annulaire

But :

On veut obtenir dans notre programme un écoulement annulaire, ce qui va nous a mené à la vérification de la condition de Petalas et Aziz pour l'écoulement annulaire selon ses cartes des écoulements horizontal et vertical.

III.4.4 Ecoulement à bulles :

Introduction

Pour l'écoulement à bulles, on procède de la même façon que les cas précédents, on va vérifier ce type d'écoulement selon les équations mises en œuvre par Petalas et Aziz et la mise en fonctions par notre programme informatique, selon l'écoulement à bulle illustré dans les cartes d'écoulements des figures (II.2) (II.3).

L'écoulement à bulle existe si la fraction volumique liquide de l'écoulement à poche E_{Ls} :

$$E_{Ls} \geq 0.48 \quad (3.24)$$

Et si $\cos\theta$ et le diamètre D :

$$\cos\theta \leq \frac{3}{4\sqrt{2}} V_b^2 \left(\frac{C_1 \gamma^2}{g d_b} \right) \quad (3.25)$$

$$D > 19 \left[\frac{(\rho_L - \rho_G) \sigma}{\rho_L^2 g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.26)$$

Avec la fraction volumique du liquide E_L :

$$E_L > 0.75 \quad (3.27)$$

Où : V_b la vitesse de la bulle C_1 le coefficient de distribution sont données par :

$$V_b = 1.41 \left[\frac{g(\rho_L - \rho_G) \sigma}{\rho_L^2} \right]^{\frac{1}{4}} \sin\theta \quad (3.28)$$

$$C_1 = (1.64 + 0.12 \sin\theta) Re_{mL}^{-0.031} \quad (3.29)$$

Là où : d_b le diamètre de bulle

$$\gamma = 1.3$$

$$d_b = 7 \text{ mm}$$

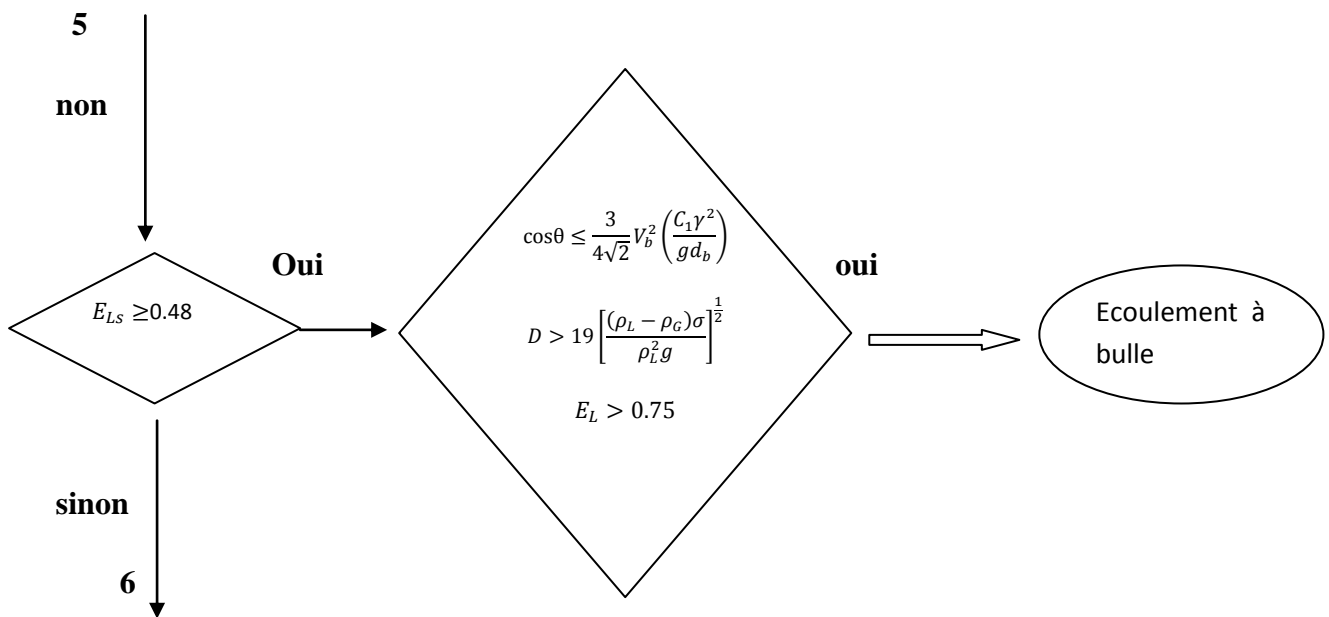


Figure III.12 : Détermination de la configuration pour l'écoulement à bulles

But :

On veut vérifier dans notre programme l'écoulement à bulle seulement dans le cas d'un écoulement à la verticale pour lequel on essaie de vérifier les conditions de Petalas et Aziz pour l'écoulement à bulles et on compare les résultats avec la carte d'écoulement.

III.4.5 Ecoulement à poche :

Introduction

L'apparition des bulles provoque l'apparition des poches ou alors des bulles allongées, nous allons définir des intervalles des deux conditions ; vitesse superficielle du liquide et du gaz, pour lesquelles et on comparera les résultats avec les cartes d'écoulements posées par Petalas et Aziz.

L'écoulement à poche existe le diamètre et l'angle de l'inclinaison et la fraction volumique de liquide vérifie les conditions :

$$\text{Si : } \cos\theta \leq \frac{3}{4\sqrt{2}} V_b^2 \left(\frac{C_1 \gamma^2}{g d_b} \right)$$

$$\text{Et : } D > 19 \left[\frac{(\rho_L - \rho_G)\sigma}{\rho_L^2 g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$E_L > 0.24$$

$$\text{Avec : } E_{Ls} \leq 0.9$$

Si ces conditions sont vérifiées donc l'écoulement est à poche.

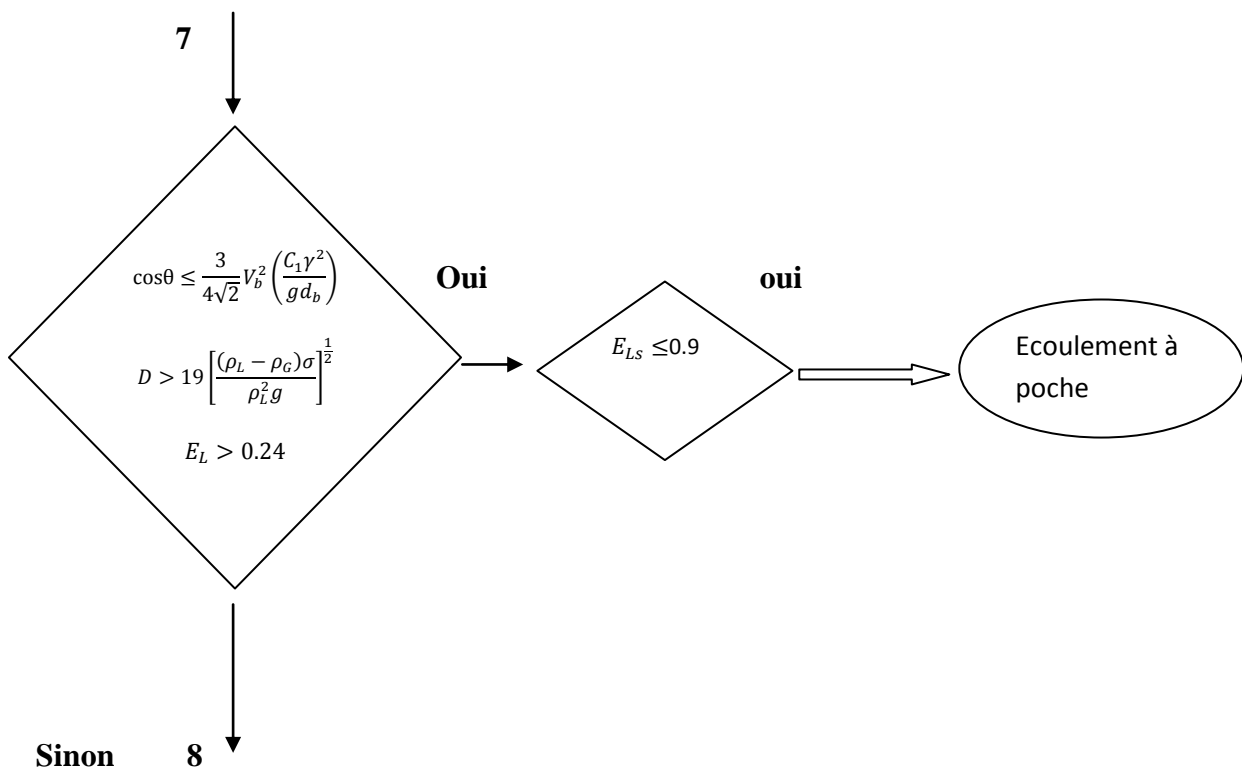


Figure III.13 : Détermination de la configuration pour l'écoulement à poches

But :

Donc on veut vérifier les conditions de Petalas et Aziz pour l'écoulement à poche selon les cartes des écoulements (vertical et horizontal), et par ailleurs nous avons donc vérifié la fiabilité du programme exécuté.

III.4.6 A bulles allongées :

Introduction

On se retrouve dans le cas d'un écoulement à bulles allongée si les vitesses superficielles V_{sl} varient entre (0.8-5) (ft/s) et V_{sg} varient entre (0.01-1) (ft/s) en écoulement horizontal, et que les vitesses V_{sl} varient entre (0.01-10) (ft/s) et V_{sg} varient entre (0.02-8) (ft/s) en écoulement vertical, on vérifie les résultats obtenus par rapport aux cartes d'écoulement.

$$\text{Si : } \cos\theta \leq \frac{3}{4\sqrt{2}} V_b^2 \left(\frac{C_1 \gamma^2}{g d_b} \right)$$

$$\text{Et : } D > 19 \left[\frac{(\rho_L - \rho_G) \sigma}{\rho_L^2 g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$E_L > 0.24$$

$$\text{Avec : } E_{Ls} > 0.9$$

Si ces conditions sont vérifiées donc l'écoulement est à bulles allongées.

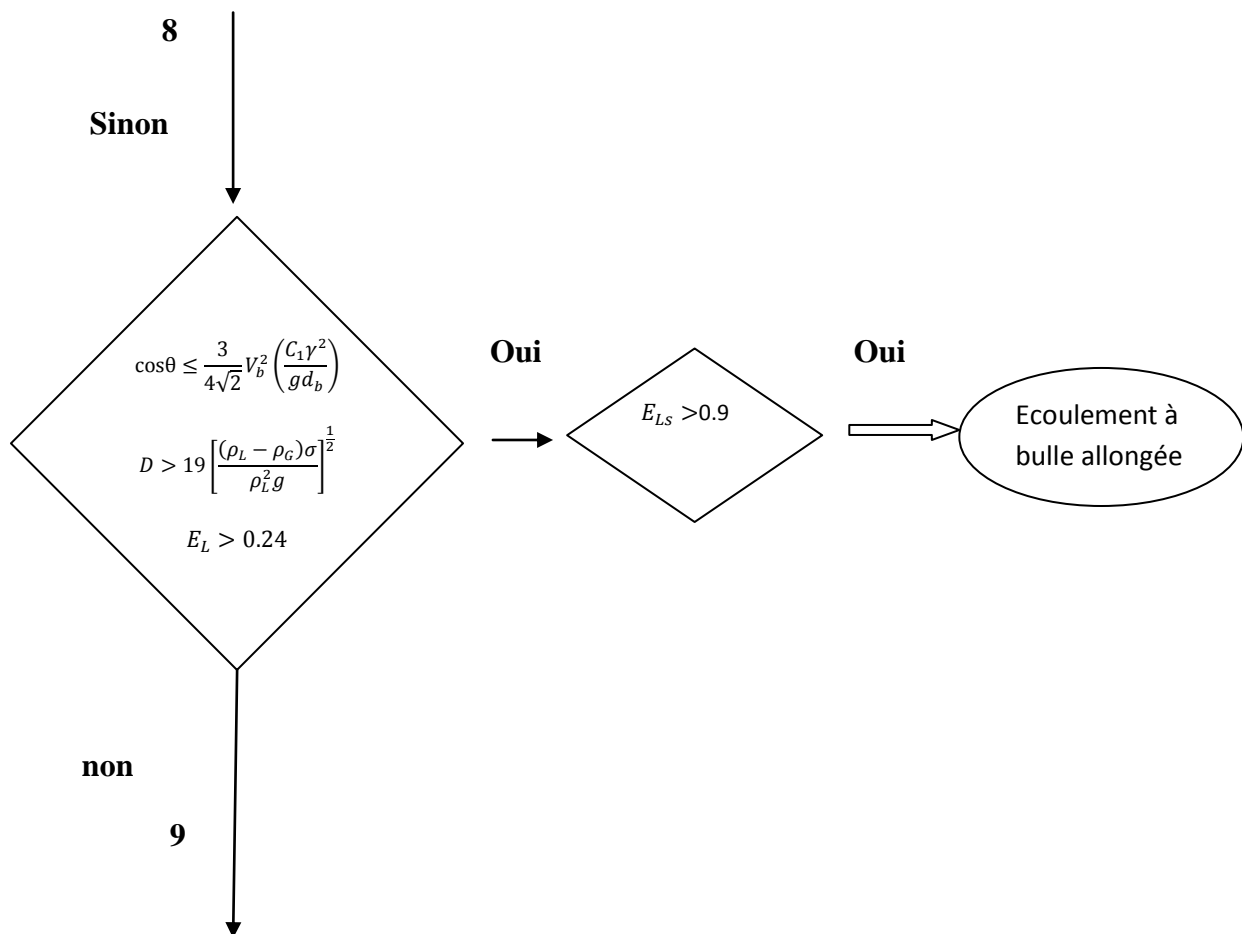


Figure III.14 : Détermination de la configuration pour l'écoulement à bulles allongées

But :

Donc on veut vérifier les conditions de Petalas et Aziz pour l'écoulement a bulle allongée selon ses cartes des écoulements à ($\theta = 90^\circ$) et ($\theta = 0^\circ$) .

III.4.7 Ecoulement à mousse :

Introduction

Dans la mesure où aucun des types d'écoulement cité précédemment ne soit vérifié par rapport aux conditions posées par les concepteurs du modèle, on se retrouve donc dans le cas d'un écoulement à mousse.

Si la fraction du liquide E_L et la fraction du liquide a poche E_{Ls}

$$E_L < 0.24$$

$$E_{Ls} < 0.48$$

Donc l'écoulement est à mousse

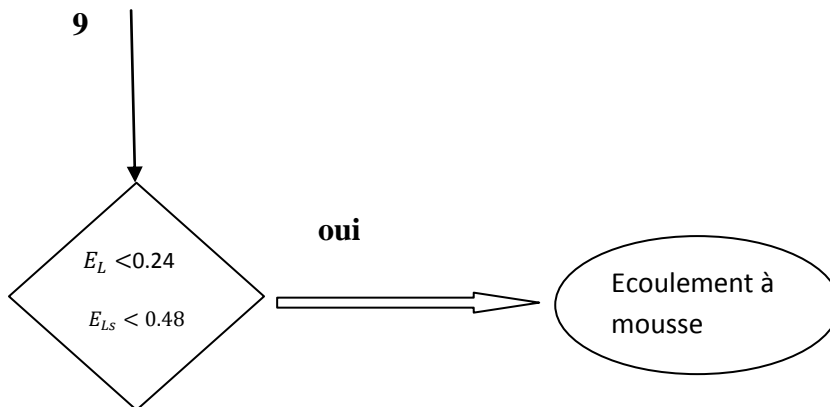


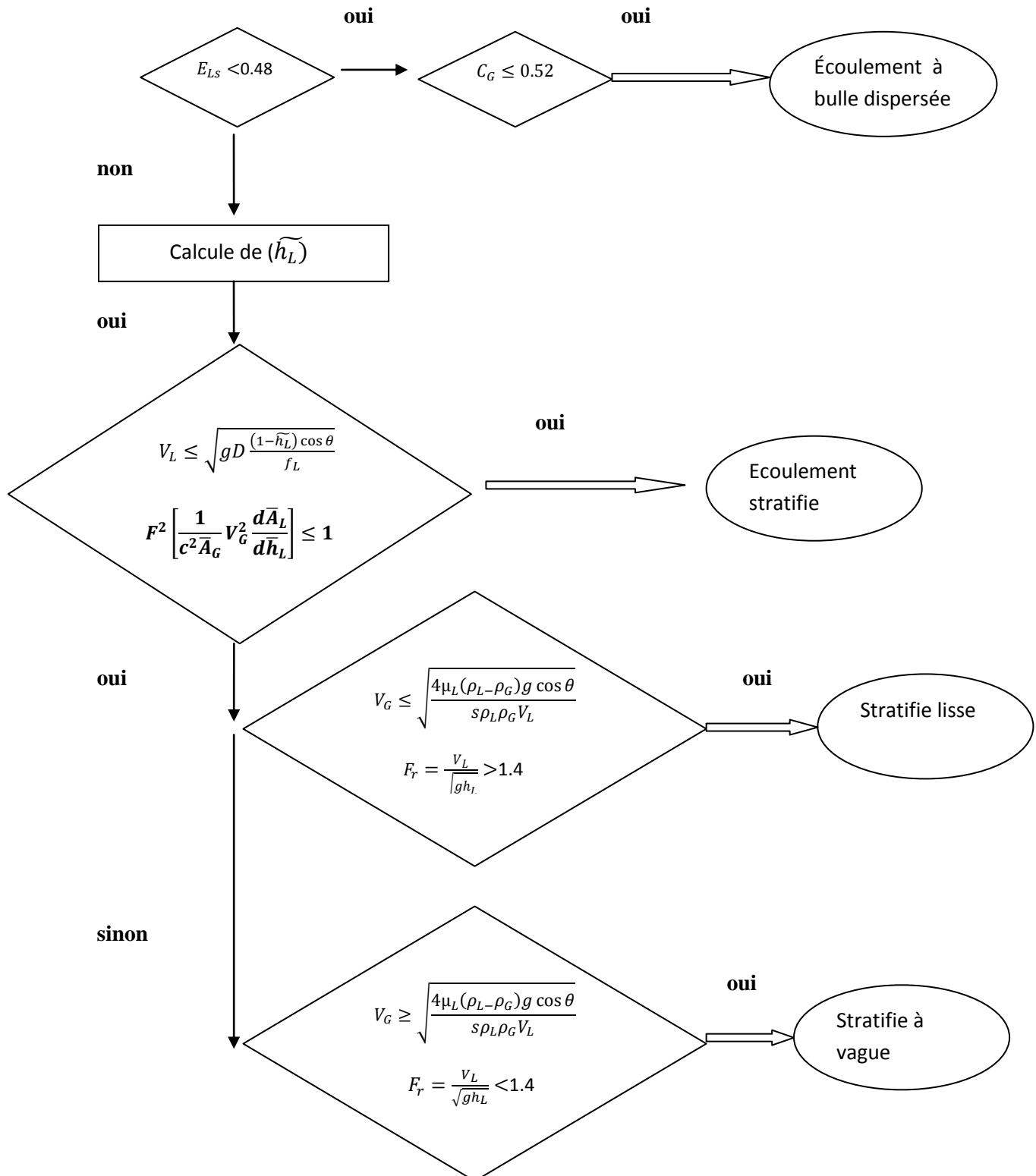
Figure III.15 Détermination de la configuration pour l'écoulement à mousse

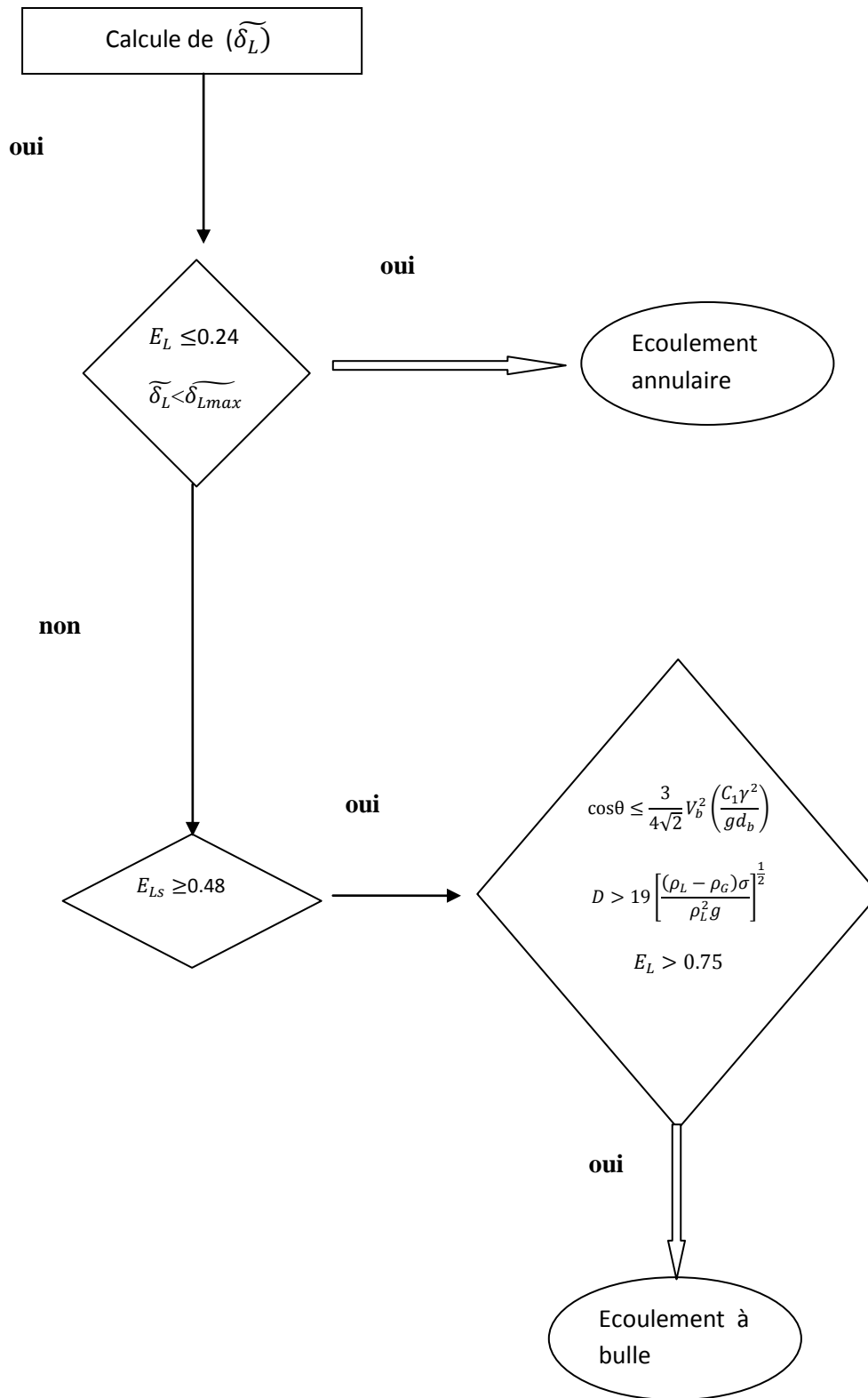
But :

On veut vérifier donc, la condition de Pétales et Aziz pour un écoulement à mousse par la comparaison des résultats quant on aura obtenu du programme avec la carte d'écoulement du type approprié. Egalement on veut vérifier la fiabilité du programme réalisé.

III.5/ Organigramme global de programme :

A fin de faire un programme informatique il faut avoir un organigramme globale pour tout les type d'écoulement, ce plant de travaille montre les étapes a suivre pour avoir le type d'écoulement pour chaque type.





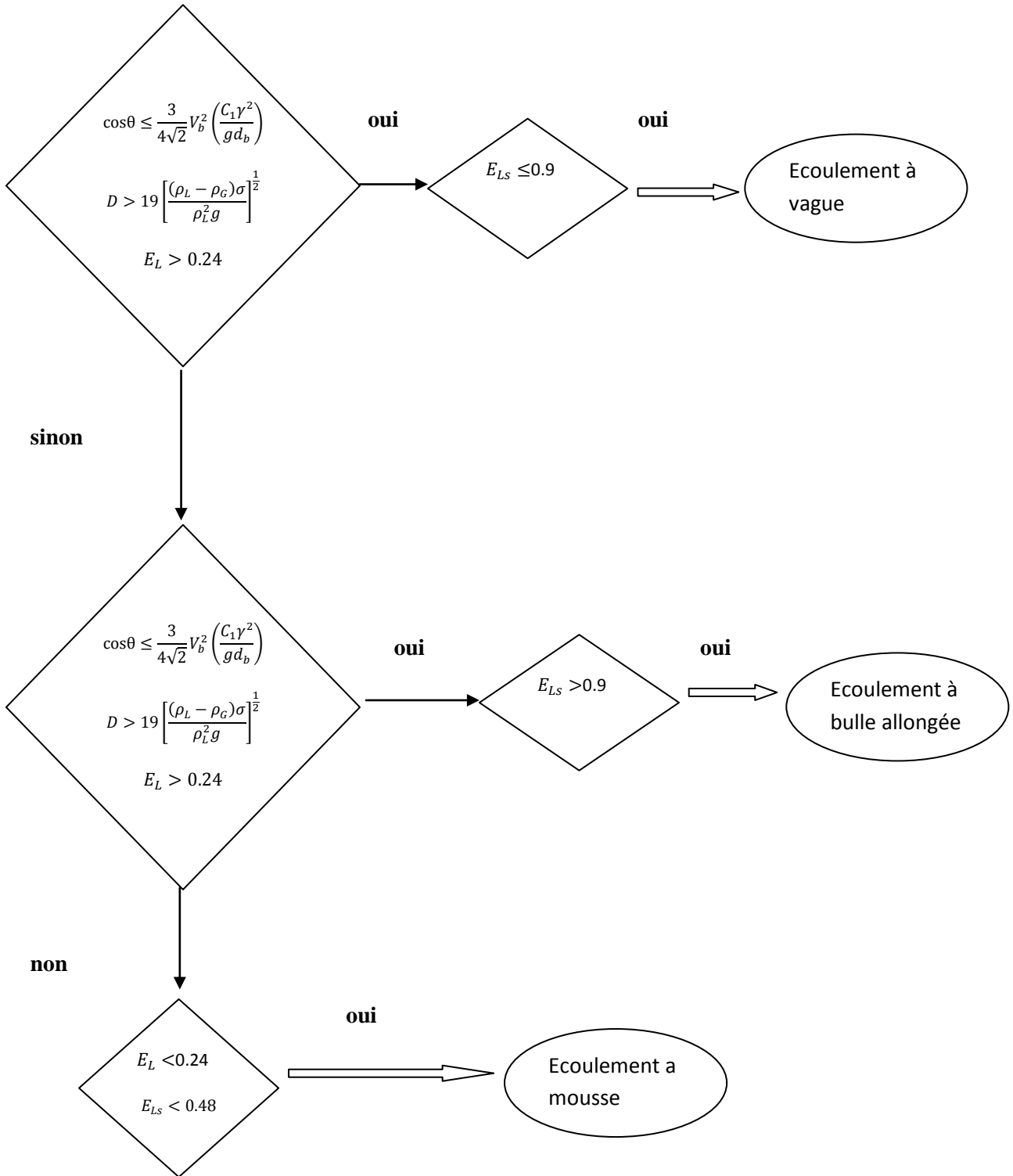


Figure III.16 Organigramme globale des types d'écoulements

III.6/ Résultat obtenu :

C'est deux tableaux permettent de donner les différents types d'écoulements obtenus par un programme de calcul en langage fortran 97 a ($\theta = 0^\circ$) et ($\theta = 90^\circ$) selon les vitesses superficielles du liquide V_{sl} et du gaz V_{sg} .

L'unité de mesure des vitesses utilisée dans le programme est du (m/sec), mais, afin de pouvoir comparé les types d'écoulements par rapport aux vitesses superficielles dans les cartes d'écoulements et les tableaux nous avons changé l'unité de mesure des tableaux sont en (ft/sec) parce que les cartes d'écoulements sont en (ft/sec).

Vitesse superficielle du gaz V_{sg} (ft.sec)	Vitesse superficielle du liquide V_{sl} (ft.sec)	Type d'écoulement
0.01	0.01	Ecoulement stratifié lisse
0.01	0.05	Ecoulement stratifié lisse
0.01	0.1	Ecoulement stratifié lisse
0.01	0.5	Ecoulement stratifié lisse
0.01	1.0	Ecoulement stratifié lisse
0.01	5.0	Ecoulement à bulle allongée
0.01	10.0	Ecoulement à poche
0.01	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.01	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.05	0.01	Ecoulement stratifié lisse
0.05	0.05	Ecoulement stratifié lisse
0.05	0.1	Ecoulement stratifié lisse
0.05	0.5	Ecoulement stratifié lisse
0.05	1.0	Ecoulement stratifié lisse- à bulle allongée
0.05	5.0	Ecoulement à bulle allongée
0.05	10.0	Ecoulement à poche
0.05	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.05	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.1	0.01	Ecoulement stratifié lisse
0.1	0.05	Ecoulement stratifié lisse
0.1	0.1	Ecoulement stratifié lisse
0.1	0.5	Ecoulement stratifié
0.1	1.0	Ecoulement à bulle allongée
0.1	5.0	Ecoulement à bulle allongée
0.1	10.0	Ecoulement à poche
0.1	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.1	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.5	0.01	Ecoulement stratifié lisse
0.5	0.05	Ecoulement stratifié lisse
0.5	0.1	Ecoulement stratifié lisse

0.5	0.5	Ecoulement à bulle allongée
0.5	1.0	Ecoulement à bulle allongée
0.5	5.0	Ecoulement à bulle allongée
0.5	10.0	Ecoulement à poche
0.5	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.5	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
1.0	0.01	Ecoulement stratifié lisse
1.0	0.05	Ecoulement stratifié lisse
1.0	0.1	Ecoulement stratifié lisse
1.0	0.5	Ecoulement à bulle allongé
1.0	1.0	Ecoulement à bulle allongé
1.0	5.0	Ecoulement à poche
1.0	10.0	Ecoulement à poche
1.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
1.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
5.0	0.01	Ecoulement stratifié lisse
5.0	0.05	Ecoulement à bulle allongée
5.0	0.1	Ecoulement à bulle allongée
5.0	0.5	Ecoulement à bulle allongée
5.0	1.0	Ecoulement à poche
5.0	5.0	Ecoulement à poche
5.0	10.0	Ecoulement à poche
5.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
5.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
10.0	0.01	Ecoulement stratifié lisse
10.0	0.05	Ecoulement à poche
10.0	0.1	Ecoulement à poche
10.0	0.5	Ecoulement à poche
10.0	1.0	Ecoulement à poche
10.0	5.0	Ecoulement à poche
10.0	10.0	Ecoulement à poche
10.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
10.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
50.0	0.01	Ecoulement annulaire
50.0	0.05	Ecoulement annulaire
50.0	0.1	Ecoulement annulaire
50.0	0.5	Ecoulement annulaire
50.0	1.0	Ecoulement annulaire
50.0	5.0	Ecoulement à mousse
50.0	10.0	Ecoulement à mousse
50.0	50.0	Ecoulement à mousse-a bulle dispersé
50.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
100.0	0.01	Ecoulement annulaire
100.0	0.05	Ecoulement annulaire
100.0	0.1	Ecoulement annulaire
100.0	0.5	Ecoulement annulaire
100.0	1.0	Ecoulement annulaire

100.0	5.0	Ecoulement annulaire
100.0	10.0	Ecoulement annulaire
100.0	50.0	Ecoulement à mousse
100.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée

Tableaux III.2 Donne les types d'écoulements à ($\theta = 0^\circ$)

Vitesse superficielle du gaz V_{sg} (ft.sec)	Vitesse superficielle du liquide V_{sl} (ft.sec)	Type d'écoulement
0.01	0.01	Ecoulement à bulles
0.01	0.05	Ecoulement à bulles
0.01	0.1	Ecoulement à bulles
0.01	0.5	Ecoulement à bulles
0.01	1.0	Ecoulement à bulles
0.01	5.0	Ecoulement à bulles
0.01	10.0	Ecoulement à bulles
0.01	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.01	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.05	0.01	Ecoulement à bulles
0.05	0.05	Ecoulement à bulles
0.05	0.1	Ecoulement à bulles
0.05	0.5	Ecoulement à bulles
0.05	1.0	Ecoulement à bulles
0.05	5.0	Ecoulement à bulles
0.05	10.0	Ecoulement à bulles
0.05	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.05	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.1	0.01	Ecoulement à bulles
0.1	0.05	Ecoulement à bulles
0.1	0.1	Ecoulement à bulles
0.1	0.5	Ecoulement à bulles
0.1	1.0	Ecoulement à bulles
0.1	5.0	Ecoulement à bulles
0.1	10.0	Ecoulement à bulles
0.1	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.1	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.5	0.01	Ecoulement à bulles
0.5	0.05	Ecoulement à bulles
0.5	0.1	Ecoulement à bulles
0.5	0.5	Ecoulement à bulles
0.5	1.0	Ecoulement à bulles
0.5	5.0	Ecoulement à bulles
0.5	10.0	Ecoulement à bulles
0.5	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
0.5	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
1.0	0.01	Ecoulement à bulles

1.0	0.05	Ecoulement à bulles
1.0	0.1	Ecoulement à bulles
1.0	0.5	Ecoulement à bulles
1.0	1.0	Ecoulement à bulles
1.0	5.0	Ecoulement à bulles
1.0	10.0	Ecoulement à bulles
1.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
1.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
5.0	0.01	Pas de résultat
5.0	0.05	Pas de résultat
5.0	0.1	Pas de résultat
5.0	0.5	Pas de résultat
5.0	1.0	Ecoulement à poche
5.0	5.0	Ecoulement à poche
5.0	10.0	Ecoulement à poche
5.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
5.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
10.0	0.01	Ecoulement à poche
10.0	0.05	Ecoulement à poche
10.0	0.1	Ecoulement à poche
10.0	0.5	Ecoulement à poche
10.0	1.0	Ecoulement à poche
10.0	5.0	Ecoulement à poche
10.0	10.0	Ecoulement à poche
10.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
10.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
50.0	0.01	Ecoulement annulaire
50.0	0.05	Ecoulement annulaire
50.0	0.1	Ecoulement annulaire
50.0	0.5	Ecoulement annulaire
50.0	1.0	Ecoulement annulaire
50.0	5.0	Ecoulement à mousse
50.0	10.0	Ecoulement à mousse
50.0	50.0	Ecoulement à bulle dispersée
50.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée
100.0	0.01	Ecoulement annulaire- mousse
100.0	0.05	Ecoulement annulaire- mousse
100.0	0.1	Ecoulement annulaire- mousse
100.0	0.5	Ecoulement annulaire
100.0	1.0	Ecoulement annulaire
100.0	5.0	Ecoulement annulaire
100.0	10.0	Ecoulement annulaire
100.0	50.0	Ecoulement à mousse
100.0	100.0	Ecoulement à bulle dispersée

Tableau III.3 Donne les types d'écoulements à ($\theta = 90^\circ$)

Commentaire :

- **Pour l'écoulement à bulles dépecées :**

On remarque selon les tableaux (III.2) et (III.3) pour des valeurs de V_{sl} comprises entre (50-100) (ft/s) et de V_{sg} entre (0.01-100) (ft/s) dans le cas horizontal ($\theta = 0^\circ$), et à V_{sl} prenant des valeurs de (50-100) (ft/s) et une V_{sg} de (0.01-100) (ft/s) verticalement ($\theta = 90^\circ$); et par la comparaison des vitesses superficielles dans les cartes d'écoulement et les résultats obtenus du tableau, On constate donc qu'on se trouve dans le cas d'un écoulement à bulle dispersée.

- **Pour l'écoulement stratifié :**

On remarque selon le tableau (III.2) à échelle d'écoulement horizontal, les valeurs de V_{sl} varient entre (0.01-1.0) (ft/s) et la vitesse V_{sg} prend des valeurs de (0.01-1.0) (ft/s). Par la comparaison des résultats obtenus avec la carte des écoulements de Pétales et Aziz lors d'un écoulement gaz-liquide à échelle ($\theta = 0^\circ$) on constate que l'on est dans le cas d'un écoulement stratifié.

- **Pour l'écoulement stratifié lisse :**

On constate selon le tableau (III.2) que pour la vitesse du liquide V_{sl} prenant des valeurs (0.01-0.1) (ft/s) et la vitesse du gaz V_{sg} prenant des valeurs (0.01-10) (ft/s); on obtient par le programme un écoulement stratifié lisse, cela est perçu par la comparaison des valeurs mentionnées avec, les cartes d'écoulement. On est sur donc d'être dans le cas d'un écoulement stratifié lisse.

- **Pour l'écoulement stratifié à vague :**

Selon les résultats obtenus du tableau (III.2) et par la comparaison avec la carte d'écoulement, on ne s'est pas retrouvé dans le cas d'un écoulement stratifié à vague vis-à-vis de la carte, on s'est retrouvé dans le cas d'un écoulement à poche.

- **Pour l'écoulement annulaire :**

Pour une vitesse superficielle du liquide V_{sl} prenant des valeurs entre (0.01-10) (ft/s) et une vitesse superficielle du gaz V_{sg} pour les valeurs (50-130) (ft/s) et à écoulement horizontal

($\theta = 0^\circ$) ; ou encore, pour une V_{sl} valant de (0.01-10) (ft/s) et une V_{sg} valant de(50-100) (ft/s) et à l'écoulement vertical ($\theta = 90^\circ$) (résultats obtenu selon les tableau III.2 et III.3)et par comparaison avec les vitesses superficielles représentées dans les cartes d'écoulement on constate que l'on est dans le cas d'un écoulement annulaire.

- **Pour l'écoulement à bulles :**

Dans le cas d'un écoulement horizontal ($\theta = 0^\circ$) on obtient dans notre programme un écoulement à bulle a longé ou à poche a la place de l'écoulement a bulle. Alors que pour l'écoulement vertical ($\theta = 90^\circ$) et selon le tableau (III.3) la vitesse superficielle du liquide étant comprise entre (0.01-1) (ft/s) et la vitesse superficiel du gaz V_{sg} comprise entre (0.01-1) (ft/s) on constate que l'on est dans le cas d'un écoulement a bulles.

- **Pour l'écoulement à poche :**

Dans le tableau (III.2), les vitesses V_{sl} et V_{sg} prennent respectivement des valeurs entre (0.05-10) (ft/s) et (0.05-10) (ft/s). Et par comparaison avec la carte d'écoulement dans le cas horizontal, on se retrouve dans le cas d'un écoulement a poche et ainsi pour le tableau (III.3), les vitesses V_{sl} et V_{sg} prennent des valeurs respectives variant entre (0.05-10) (ft/s) et (5-10) (ft/s) et par comparaison avec la carte d'écoulement dans le cas vertical, on se retrouve dans le cas d'un un écoulement a poche.

- **Pour l'écoulement à bulles allongées :**

Dans le tableau (III.2) et pour les valeurs de V_{sl} variant entre (0.5-5) (ft/s) et les valeurs de V_{sg} variant entre (0.01-5) (ft/s) et pour le cas : horizontal, on obtient dans notre programme un écoulement a bulle allongée. Pour le tableau (III.3) et pour les valeurs de vitesse V_{sl} d'intervalle (0.01-0.5) (ft/s) et V_{sg} de valeur (5) (ft/s) et dans le cas : vertical, on obtient dans notre programme un écoulement à bulles allongées.

- **Pour l'écoulement à mousse :**

On remarque selon le tableau (III.2) à échelle d'écoulement horizontal, les valeurs de V_{sl} varient entre (5-50) (ft/s) et la vitesse V_{sg} prend des valeurs de (50-100) (ft/s). Par la comparaison des résultats obtenus avec la carte des écoulements de Pétales et Aziz lors d'un écoulement gaz-liquide à échelle ($\theta = 0^\circ$) on constate que l'on est dans le cas d'un écoulement à mousse. de même pour l'échelle d'écoulement vertical ou les valeurs de V_{sl} varient entre (0,01-50) (ft/s) et la vitesse V_{sg} prend des valeurs de (50-100) (ft/s).

III.7/ Conclusion :

Le but essentiel de ce chapitre est la transformation de l'organigramme posé par Pétales et Aziz en un programme informatique qui donne des résultats concernant les différents types d'écoulement selon des conditions précises posées pour ce modèle, un modèle réalisé pour les différentes valeurs des vitesses superficielles du liquide ou du gaz. Ainsi et à l'aide de ce programme, nous avons pu comparer les résultats obtenus avec les cartes d'écoulements posées par les concepteurs du modèle, nous avons, par cela, pu définir des intervalles de valeurs pour les vitesses superficielles.

VI/ Conclusion générale

Nous avons introduit notre travail par un ensemble de généralités sur les écoulements à deux phases ainsi que leur utilisation pour la détermination des configurations d'écoulements et les différents outils mathématiques qui sont nécessaire à la mise en équation d'un tel écoulement.

La modélisation d'un écoulement à deux phases gaz-liquide dans une conduite horizontale ou vertical permet la prédiction des différentes quantités physiques. Parmi ces quantités physiques on s'est intéressé à la fraction volumique de liquide. Cette fraction a été calculée en utilisant un modèle à deux fluides. Ce modèle utilisé est celui de Petalas et Aziz (1998) [15], qui ont proposés une corrélation pour calculer la fraction volumique dans le liquide. Ils ont supposés que cette fraction est fonction seulement du la vitesse superficiel du liquide et du gaz qui nous donne le type d'écoulement.

Avant de présenter les résultats théoriques, il fallait choisir des résultats expérimentaux afin de les comparer. A cet effet le modèle de Petalas et Aziz (1998) [15], ont été choisies dans ce travail. Les mesures des différentes quantités physiques ont été faites dans un écoulement à deux phases gaz-liquide dans une conduite horizontale et vertical de 0.051 m de diamètre. Seules les valeurs de la fraction volumique dans le gaz et la hauteur de liquide dans l'écoulement stratifié et le film liquide ont été prises en compte dans ce travail. Les mesures de cette fraction ont été réalisées sur une surface A , et en faisant varier à chaque fois les vitesses superficielles du gaz et du liquide.

Du fait que les valeurs des fractions volumiques obtenues dans le liquide du modèle correspondent aux mêmes des conditions et aux mêmes des vitesses superficielles dans les cartes d'écoulement. Donc un travail a été réalisé pour avoir le type d'écoulement selon les conditions de Petalas et Aziz dans leur publication. La différence résultat obtenue pour les type d'écoulement ont été très acceptable. Donc on peut considérer que les conditions établies par Petalas et Aziz (1998) [15] comme étant bon pour obtenir un type d'écoulement dans un écoulement à deux phases gaz- liquide dans une conduite horizontale ou verticale.

Après la comparaison des résultats du tableau avec les cartes d'écoulement de Petalas et Aziz (1998) [15] ont été plus proche par rapport aux vitesses superficielles.

Enfin, l'importance de connaître la fraction volumique du liquide dans les écoulements à deux phases gaz-liquide est très importante. Car elle permet de connaître le type d'écoulement quelle que soit l'angle de l'inclinaison.