

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département De Génie Mécanique

Mémoire De fin d'études

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

Génie Mécanique

Option : Énergétique

Thème



Identification des cartes d'écoulements diphasiques ascensionnels



Proposé et dirigé par :

Mr. FERROUK Mohammed

Réalisé par :

GARICHI Hanane

KESSOUAR Salim

MOUSSAOUI Yanis

Soutenu devant le jury composé de :

Président :

Mr. BOUMRAR Idir

Examineur :

Mr. HADIOUCHE Ahmed

Promotion: 2020 /2021

Remerciement

Avant tout, nous remercions le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience durant toutes les années et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nos vifs remerciements vont en premier lieu, à nos chers parents et familles de nous avoir aidés, encouragés et soutenus tout au long de ces années et qui continuent de croire en nous en dépit de tout. Comme nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre enseignant et promoteur Mr FERROUK Mohamed qui a cru en nous, qui nous a soutenus et orienter tout au long de notre travail et pour tous les moyens mis à notre disposition pour l'élaboration de ce mémoire. Nous remercions d'avance, les membres de jury qui nous font l'honneur de juger notre travail. Nous espérons être à la hauteur de leurs attentes.

Nous sommes aussi très reconnaissantes à tous les enseignants qui ont veillé au bon déroulement de nos études tout au long de notre cursus. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre respect et remerciements les plus sincères. Un grand merci aussi à toute personne qui de près ou de loin a contribué à ce modeste travail voit le jour.

Dédicace Hanane Garíchí

Je dédie ce modeste travail

À mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur celui qui s'est toujours sacrifié pour moi, à toi mon père.

À la lumière de mes jours, la source de mes offerts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore.

À Mes sœurs, qu'Allah les rétribue et les soutienne dans l'héritage combien lourd de notre mère, qu'il leur donne la sagesse et le courage de notre mère.

À Mes frères et ceux qui ont partagé avec moi, tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail, ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

À une personne très chère à mon cœur qui ma encouragé et soutenu dans les moments durs, aucune dédicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir compté énormément pour moi.

À mes beaux-parents et à toute ma famille, qui m'ont accompagné et envoyé de la force.

À mon trinôme Yanis et sa famille.

Et mon trinôme Salim et sa famille.

À mes amis, au nom de l'amitié qui nous réunit et au nom de nos souvenirs inoubliable.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour ce travail.

Merci d'être là pour moi.

G.Hanane

Dédicace Salim Kessouar

Je dédie ce modeste travail

À mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur celui qui s'est toujours sacrifié pour moi, à toi mon père.

À la lumière de mes jours, la source de mes offerts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore.

À Mes sœurs, qu'Allah les rétribue et les soutienne dans l'héritage combien lourd de notre mère, qu'il leur donne la sagesse et le courage de notre mère.

À toute ma famille et mes amis, qui m'ont accompagné et envoyé de la force.

À mon trinôme Yanis et sa famille.

Et mon trinôme Hanane et sa famille.

À mes amis, au nom de l'amitié qui nous réunit, et au nom de nos souvenirs inoubliables.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour ce travail.

Merci d'être là pour moi.

K.Salim

Dédicace Yanís Moussaouí

Je dédie ce modeste travail

À mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur celui qui s'est toujours sacrifié pour moi, à toi mon père.

À la lumière de mes jours, la source de mes offerts, la flamme de mon cœur ma vie et mon bonheur, maman que j'adore

À Mon frère, les mots ne suffisant guère pour exprimer l'attachement l'amour et l'affection que je porte pour toi.

À mes oncles, que Dieu le tout puissant vous garde et vous protège

À toute ma famille et mes amis, qui m'ont accompagné et envoyé de la force.

À mon trinôme Hanane et sa famille.

Et mon trinôme Salim et sa famille.

À mes amis, au nom de l'amitié qui nous réunit et au nom de nos souvenirs inoubliables

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour ce travail.

Merci d'être là pour moi.

M. Yanís

Sommaire

Sommaire :

Remerciement I

Dédicace II

Liste des figures V

Liste des tableaux VIII

Nomenclature IX

Introduction générale 1

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

Introduction 4

I.1. Définition des fluides diphasiques 4

I.2. Domaines d'application 4

 Systèmes de transport 4

 Systèmes de procédés 5

 Systèmes d'alimentation 5

 Systèmes de transfert de chaleur 5

 Phénomènes métrologique 5

 Systèmes biologiques 5

I.3. Classifications des écoulements diphasiques 5

 I.3.1. Les écoulements diphasiques, selon les combinaisons des phases 5

 I.3.2. Les écoulements diphasiques, selon les structures d'interface 5

 I.3.2.1. Écoulement vertical 6

 Écoulement séparé 6

 Écoulement dispersé 6

 Écoulement de transition 6

 I.3.2.2. Écoulement incliné 6

 I.3.2.3. Écoulement horizontal 7

I.4. Les paramètres descriptifs des écoulements diphasiques 8

 I.4.1. Fonction indicatrice de phase 8

 I.4.2. Fraction de vide 8

 I.4.3. Titre massique (Réel) 9

 I.4.4. La vitesse massique 9

 I.4.5. La vitesse réelle 9

 I.4.6. Titre volumique 10

 I.4.7. La vitesse surfacique 10

Sommaire

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement

Introduction	13
II.1. Observations expérimentales de la structure et forme des écoulements	13
II.1.1. Écoulement à bulles	14
II.1.2. Écoulement à bouchons	19
II.1.3. Écoulement à mousse	22
II.1.4. Écoulement à forte coalescence	22
II.1.5. Écoulement à film tombant	22
II.1.6. Écoulement annulaire	24
II.2. Fraction de vide.....	25
II.2.1. Concept de fraction de vide	26
II.2.2. Corrélations empiriques de la fraction de vide.....	29
II.2.3. Modèle d'écoulement homogène	31
II.2.4. Modèles d'écoulement diphasique de dérive	32
II.2.5. Les corrélations les plus utilisées	33
II.2.6. Évaluation des corrélations de la fraction de vide	36
II.2.6.1. Performance des corrélations pour $0 < \alpha < 0,25$	36
II.2.6.2. Performance des corrélations pour $0,25 < \alpha < 0,5$	36
II.2.6.3. Performance des corrélations pour $0,5 < \alpha < 0,75$	37
II.2.6.4. Performance des corrélations pour $0,75 < \alpha < 1$	37
II.3. Cartes du régime d'écoulement	37
Introduction	37
II. 3.1. La carte de Hewitt et Roberts	38
II.3.1.1. Description de la carte	38
II.3.1.2. Propriétés de l'expérience	38
II.3.2. La carte d'Oshinowo-Charles	39
II. 3.2.1. Description de la carte	39
II. 3.2.2. Propriétés de l'expérience	40
II.3.3. Carte de DigitizedShell's DEP 31.22.05.11	41
II.3.3.1. Description de la carte	41
II. 3.3.2. Propriétés de l'expérience. Limites de la carte	41
II. 3.4. La carte de Golan et Stenning	42
II.3.4.1. Description de la carte	42
II.3.4.2. Propriétés de l'expérience	43
II.3.5. Carte de Duns et Ros 1963.....	44
II.3.6. Carte de TAITEL, BORNEA et DUKLER 1980.....	46

Sommaire

II.3.7. Carte de GOVIER, AZIZ et FOGARASI, 1967	47
II.3.8. Carte d'ANSARI (1994).	48
II.3.9. Carte de HASAN et KABIR (1998).....	49
II.3.10. Carte de Fair	50
Chapitre III : Interprétation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulements.	
Introduction	53
III.1.1. Codage des corrélations de la fraction de vide avec le langage FORTRAN.....	54
III.1.2. Organigramme qui résume le programme des corrélations de fractions de vide	57
III.2. Implémentation des cartes de configuration d'écoulements.....	58
III.2.1. Procédures de numérisation	58
III.2.2. Représentation graphique sur EXCEL.....	63
III.3.1. Codage des cartes avec FORTRAN	65
III.3.2. Organigramme implémentant les cartes de configuration d'écoulements.....	71
III.4. Conclusion	72
Conclusion générale	73

Références et bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Liste des figures :

Figure 1 : Techniques d'identification du régime d'écoulement	2
Figure 1.1 : Classification de l'écoulement diphasique en conduite incliné	7
Figure 1.2 : Classification de l'écoulement diphasique en conduite horizontale	7
Figure 1.3 : Fonction indicatrice de phase.....	8
Figure 1.4 : Visualisation de la fraction de vide	8
Figure 2.1 : Schémas d'écoulement vertical diphasique eau-air ascendant et descendant	14
Figure 2.2 : Effet de l'augmentation de la vitesse superficielle du liquide sur la forme, la taille et la distribution des bulles	15
Figure 2.3 : Effet de l'augmentation de la vitesse superficielle du gaz sur la taille, la forme et la distribution des bulles	17
Figure 2.4 : Phénomène de carottage résultant de la force de portance	17
Figure 2.5 : Répartition de la fraction de vide dans le noyau de la conduite, adoptée par Kashinsky, Randin et Hibiki et al.	19
Figure 2.6 : Influence de l'augmentation des débits des phases sur la forme du bouchon et du mouvement de la bulle.....	20
Figure 2.7 : Influence des vitesses superficielles des phases sur la forme du bouchon et sa direction de mouvement rapportée par Sekoguchi et al.	21
Figure 2.8 : Écoulement à film tombant avec et sans entraînement de bulle d'air dans le film liquide	23
Figure 2.9 : Schémas d'écoulement diphasique descendant.....	25
Figure 2.10 : Variation de la fraction de vide avec les vitesses superficielles du gaz et du liquide pour l'écoulement vertical ascendant	28
Figure 2.11 : Variation de la fraction de vide avec les vitesses superficielles du gaz et du liquide pour un écoulement vertical descendant	28
Figure 2.12 : Représentation graphique du modèle de vitesse de dérive	33
Figure 2.13 : Carte du schéma d'écoulement pour l'écoulement vertical de Hewitt et Roberts	38

Liste des figures

Figure 2.14 : Carte d'Oshinowo-Charles pour l'écoulement vertical ascendant de Oshinowo et Charles,	39
Figure 2.15 : Carte d'Oshinowo-Charles 1974 pour l'écoulement vertical descendant	40
Figure 2.16 : Carte de Shell pour les tubes verticaux	41
Figure 2.17 : Carte de Golan et Stenning pour l'écoulement descendant de Pickering et al	42
Figure 2.18 : Carte de Golan et Stenning pour l'écoulement ascendant	43
Figure 2.19 : Carte du Duns et Ros	44
Figure 2.20 : Carte du TAITEL, BORNEA et DUKLER	46
Figure 2.21 : Carte Aziz, Gouvier et Fogarasi	48
Figure 2.22 : Carte du Ansari et al	49
Figure 2.23 : Carte du HASAN et KABIR	50
Figure 2.24 : Carte de fair	51
Figure 3.1 : Capture d'écran qui représente le codage des corrélations avec FORTRAN95	54
Figure 3.2 : Capture d'écran qui représente la construction de programme avec FORTRAN95	54
Figure 3.3 : Capture d'écran qui représente le choix de corrélations	55
Figure 3.4 : Capture d'écran qui représente les paramètres de la corrélation choisi	55
Figure 3.5 : Capture d'écran qui montre la valeur de α et la nature de l'écoulement	56
Figure 3.6 : Organigramme qui résume le programme de corrélations	57
Figure 3.7 : OriginLab	58
Figure 3.8 : Le programme « pc-screen-capture_2-3_fr_263358 »	58
Figure 3.9 : Capture de la carte de Hewitt et Roberts 1969 pour l'écoulement vertical	59
Figure 3.10 : Capture de l'importation de la carte sur OriginPro	59
Figure 3.11 : Capture de réglage des paramètres du repère	60
Figure 3.12 : Capture où on a réglé tous les paramètres du repère	60
Figure 3.13 : Capture qui représente ou cliquer pour commencer à sélectionner les points du graphe original	61
Figure 3.14 : Capture qui représente le traçage des points sur le graphe original	61

Liste des figures

Figure 3.15 : Capture qui représente où trouver les coordonnées des points sélectionnés	62
Figure 3.16 : Capture qui représente la sélection des coordonnées des points sélectionnés sur le graphe original	62
Figure 3.17 : Capture qui représente le traçage des points sélectionnés sur le graphe original ...	63
Figure 3.18 : Capture qui représente la phase finale de notre numérisation de la carte du HEWITT et ROBERTS	64
Figure 3.19 : Capture d'écran pour le codage des cartes avec FORTRAN 95	65
Figure 3.20 : Capture d'écran pour la construction de programme des cartes avec FORTRAN..	66
Figure 3.21 : Capture d'écran montre que la construction de programme des cartes avec FORTRAN 95 est bien effectuée.....	66
Figure 3.22 : Capture d'écran montre que l'assemblage de programme des cartes avec FORTRAN 95 est bien effectué	67
Figure 3.23 : Capture d'écran montre le choix de cartes qu'on a dans le programme	67
Figure 3.24 : Capture d'écran montre les propriétés de la carte sélectionnée	68
Figure 3.25 : Capture d'écran montre la prédiction de la nature d'écoulement de la carte sélectionnée	69
Figure 3.26 : Capture d'écran montre une autre carte et le programme prédit de la nature d'écoulement de la deuxième carte sélectionnée.....	70
Figure 3.27 : Organigramme qui résume le programme de cartes	71

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau 2.1 : Les corrélations de fraction de vide les plus utilisées	33
--	----

Nomenclature

Nomenclature :

ATM	Atmosphère
CR	Critique
C_0	Paramètre de distribution diphasique, sans dimension
D	Diamètre intérieur du tuyau, m
F_r	Nombre de Froude, sans dimension
g	Accélération gravitationnelle, $m s^{-2}$
G	débit massique ou vitesse massique $kg m^{-2} s^{-1}$
H	Distance entre prises de pression, m
p	Pression, Pa
Re	Nombre de Reynolds, sans dimension
u_{gu}	Vitesse de dérive de la phase gazeuse, $m s^{-1}$
U	Rapidité, $m s^{-1}$
S	Largeur de la conduite rectangulaire, m
T	La température, $^{\circ} C (K)$
T_{SAT}	La température de saturation, $^{\circ} C$
ΔT	La différence de température, $^{\circ} C$
$\Delta T_{SAT}(z)$	Surchauffe à la position axiale z , $^{\circ} C$
$\Delta T_{SUB}(z)$	Sous-refroidissement à la position axiale z , $^{\circ} C$
t_g	Temps de résidence de phase gazeuse, s
u	La vitesse, m/s
u_f	La vitesse réelle de la phase liquide, m/s
u_{fo}	La vitesse dans le canal si l'écoulement est supposé totalement liquide, m/s
u	La vitesse réelle de la phase gazeuse, m/s
v	Le volume spécifique, m^3/kg

Nomenclature

W	Taux de masse de l'écoulement, kg/s
W_f	Taux de masse de l'écoulement de la phase liquide, kg/s
W_g	Taux de masse de l'écoulement de la phase vapeur, kg/s
w	La largeur rectangulaire du la conduite, m
x	La qualité de la vapeur de masse
Y	Paramètre dans le modèle de débit unifié de Taitel
y	Distance a mesurée de la limite, m
z	Coordonnée axiale, m
(dp/dz)	Gradient de pression, $N/m^2 m$
$[dp/dzF]_f$	Gradient de pression d'en supposant que le débit total soit un liquide, $N/m^2 m$
$[dp/dzF]_g$	Gradient de pression d'en supposant que le débit total soit un gaz, $N/m^2 m$
Δp	La variation de pression, N/m^2
$(F_r)_\theta$	Le numéro de Froude

SYMBOLES GREC

α	La fraction de vide
β	La qualité volumétrique
δ	L'épaisseur de film, m
θ	Angle de plan horizontal, Deg
λ	Facteur utilisé dans le diagramme de modèle de débit du support
μ	La viscosité, Ns/m^2
μ_f	La viscosité de liquide, Ns/m^2
μ_w	La viscosité de l'eau à 1 atm et 20°C , Ns/m^2
ν	La viscosité cinématique, m^2/s
ρ	La densité, kg/m^3
ρ_a	La densité de l'air à 1 atm et 20°C , kg/m^3

Nomenclature

ρ_f	La densité de liquide, kg/m^3
ρ_g	La densité de gaz, kg/m^3
ρ_w	La densité de l'eau à 1 atm et 20°C, kg/m^3
σ	Tension de surface, N/m
σ_w	Tension de surface de l'eau à 1 atm et 20°C, N/m
ϕ	Le flux de chaleur de surface, W/m^2
Ψ	Facteur utilisé dans le diagramme de modèle de débit du support

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

Les écoulements diphasiques interviennent dans de nombreux dispositifs industriels où l'on cherche à mettre en oeuvre un transfert d'énergie ou un transfert de masse.

Ils sont une discipline transversale. Ils procèdent de la mécanique des fluides à laquelle est liée la thermique où parfois le transfert de matière. Dans la première situation, on nomme cette discipline la thermohydraulique (thermal-hydraulics). À l'origine, ces disciplines sont nées et ont été développées notamment pour le génie nucléaire et le génie chimique (nuclear engineering, chemical engineering). Leur développement n'est pas à ce jour aussi avancé que la mécanique des fluides traditionnels et en particulier, l'utilisation des outils de mécanique des fluides numériques reste très largement encore du domaine de la recherche.

Pour décrire simplement l'état des connaissances, disons que l'on sait décrire, avec une précision suffisante pour les besoins pratiques, les écoulements et les transferts de chaleur en conduite et qu'une bonne partie des mécanismes contrôlant certains écoulements dispersés à bulles ou à gouttelettes sont suffisamment bien connus pour qu'il soit possible d'en déduire des modèles raisonnables. Pour donner une image simplifiée et faire un parallèle avec l'avancement de la mécanique des fluides, disons que les écoulements diphasiques en sont au stade de développement de l'hydraulique au début du siècle dernier.

L'objectif principal de notre étude est l'identification du type ou la carte d'écoulement que l'on rencontre lors des écoulements diphasiques ascensionnels. Ils existent deux principales techniques d'identification comme le montre la figure 1. À cette fin, une recherche non exhaustive sur les méthodes de visualisation qui étaient menées concernant l'approche empirique. Pour la méthode de prédiction, approche mécaniste, une recherche bibliographique a été menée à la fois pour les corrélations de fraction de vide, utilisées dans l'approche mécaniste et pour les cartes d'écoulement (figure 1).

Des programmes rédigés en langage fortran permettant de prédire la fraction de vide et le type d'écoulement ont été élaborés et testés. L'implémentation des cartes de configuration d'écoulement a été menée en se servant des logiciels Origin et Excel pour la visualisation en combinant avec des programmes codés en fortran.

Les corrélations les plus utilisées pour la fraction de vide ont été rapportées dans le chapitre 2. Les cartes d'écoulement, rapportées dans la littérature ont été présentées également dans le chapitre 2.

Introduction générale

Les procédures de calcul et les résultats de calcul qui en découlent sont présentés au chapitre 3.

La conclusion ainsi que les développements futurs en perspective sont donnés à la fin du chapitre 3.

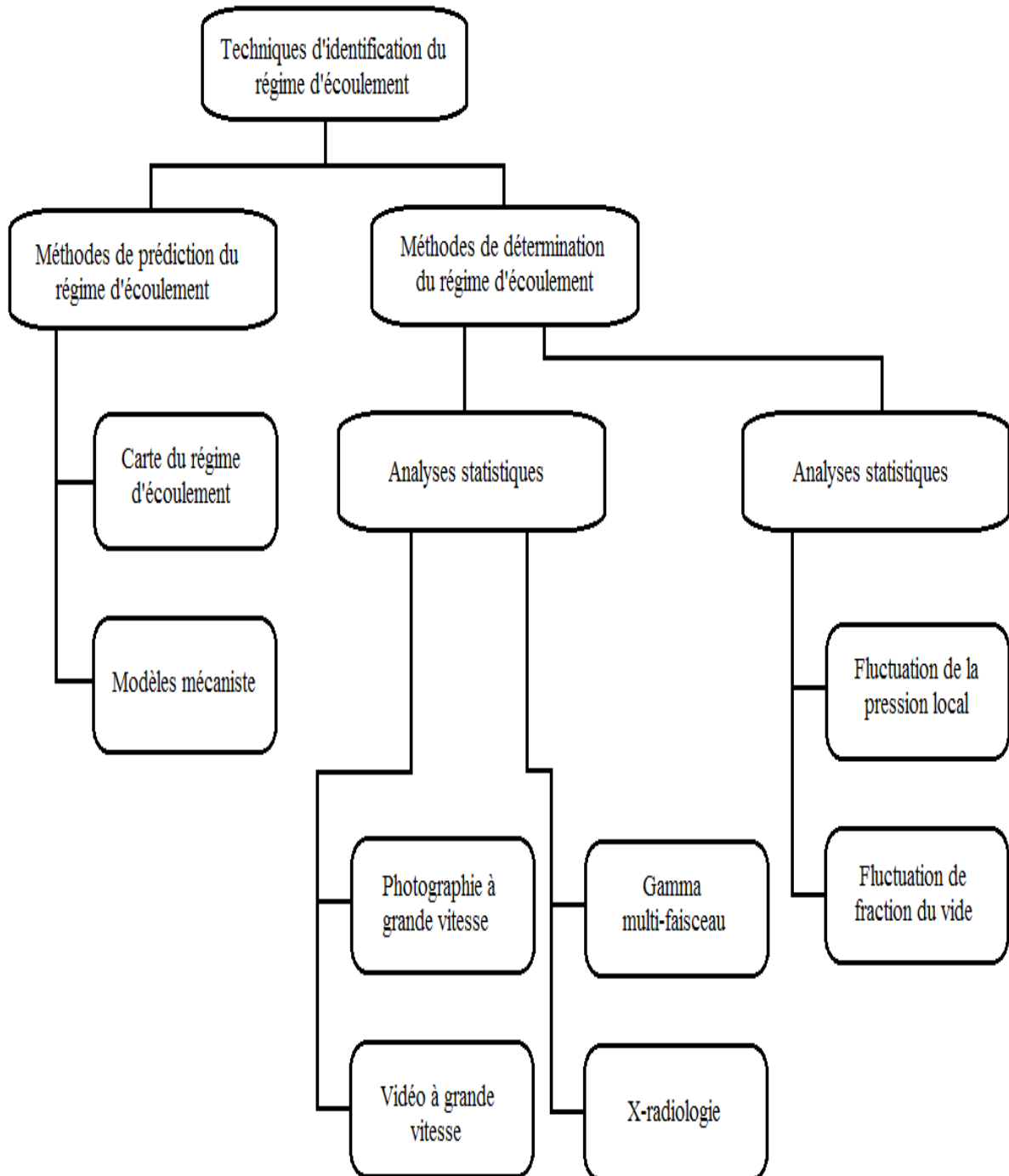


Figure 1 : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

CHAPITRE I

Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

Introduction :

Une phase est une définition thermodynamique de l'état de la matière, qui peut être solide, liquide ou gaz. Dans la terminologie générale, une phase est dite continue si elle occupe continuellement les régions connectées de l'espace et elle est dispersée si elle occupe des régions déconnectées. La phase continue peut-être gazeuse ou liquide. La phase dispersée est formée des particules. La particule peut être solide ou fluide, gazeuse ou liquide.

Les particules de fluide formées par une phase gazeuse sont appelées bulles, alors qu'on ne parle de gouttes que si les particules de fluide sont formées par une phase liquide.

I.1. Définition des fluides diphasiques :

La mécanique des fluides diphasiques est le domaine qui consiste à étudier ce qui se passe lorsque l'on a affaire à plusieurs fluides qui s'écoulent ensemble : il peut s'agir d'un même fluide présent en deux phases différentes (eau et sa vapeur par exemple), de deux liquides différents dans une même phase (eau et huile liquides par exemple : cela intéresse particulièrement l'industrie pétrolière) ou encore deux fluides différents dans une phase différente (eau et air par exemple). Le comportement d'un écoulement en présence de deux fluides différents se trouve fortement modifié par rapport au cas monophasique ; c'est pourquoi il est à l'heure actuelle l'un des sous-domaines les plus actifs (au niveau de la recherche et des publications) de la mécanique des fluides.

Le comportement de l'écoulement diffère beaucoup en fonction de divers paramètres :

- Les différents fluides (mélange liquide/gaz ou liquide/liquide)
- La géométrie du système (réservoir, tube horizontal, tube vertical, ...)
- Le chauffage ou non du système et le type de chauffage utilisé (uniforme/non uniforme, par une paroi chauffée/de façon volumique). Lorsque l'on parle d'écoulement chauffé, on suppose que le chauffage induit l'état diphasique du système par évaporation (eau bouillante par exemple).

I.2. Domaines d'application :

Les applications les plus importantes où l'on rencontre ce type d'écoulement sont les suivantes :

Systèmes de transport :

Transport par canalisation des mélangeurs de pétrole et de gaz, des fibres des boues, des pompes du type air-lift, etc.

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

Systèmes de procédés :

Réaction chimiques, milieu poreux, unités d'extraction et de distillation système de dessalement, séparation de phase atomiseurs, réacteurs agités, etc.

Systèmes d'alimentation :

Réaction nucléaire, chaudières et évaporateurs, moteurs à réaction, moteur de combustion.

Systèmes de transfert de chaleur :

Évaporateurs, réfrigérateur, échangeur de chaleur condensateurs, séchoirs, tours de refroidissement.

Phénomènes métrologiques :

Introduction des fleuves, vagues d'océan, formation et mouvement de gouttelettes de pluie, physique des nuages, givrage, etc.

Systèmes biologiques :

Écoulement de sang, système cardio-vasculaire transport capillaires, systèmes respiratoires.

I.3. Classification des écoulements diphasiques :

Les écoulements diphasiques peuvent être classifiés, selon les combinaisons des phases ou selon la distribution spatiale des interfaces :

I.3.1. Les écoulements diphasiques, selon les combinaisons des phases :

Pour cette classification, les combinaisons possibles sont énumérées par le mélange de deux liquides non-miscibles (échangeurs de chaleur à contact direct), le mélange solide-liquide (transport de boue), le mélange gaz-solide (transport pneumatique) et le mélange du gaz- liquide (ébullition dans des réacteurs nucléaires) [2].

I.3.2. Les écoulements diphasiques, selon les structures d'interface :

Un écoulement diphasique peut être classifié, selon la distribution géométrique des phases appelée régime ou configuration d'écoulement.

Différents régimes sont identifiés par inspection visuelle ou par analyse spectrale des fluctuations de la fraction volumique ou des pressions instables.

Dans les cartes d'écoulement, des configurations pour différents débits de phase sont présentées. Les débits utilisés dépendent de la hauteur et sont généralement les vitesses de la quantité de mouvement, le débit volumique, ou le débit massique.

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

Dans une carte d'écoulements, les différentes topologies d'écoulement sont délimitées par des frontières correspondant aux zones de transition d'une configuration à l'autre.

Il convient de noter que ces graphiques n'ont aucun caractère universel, car donnés sous forme dimensionnelle et généralement pour un couple gaz-liquide. Ainsi, les transitions qui résultent l'instabilité peuvent être affectées par les propriétés physiques des fluides, le diamètre de la conduite, la rugosité de la paroi ou encore les conditions d'entrée [1].

Un résumé des configurations typiques d'écoulement sera présenté dans ce mémoire.

I.3.2.1. Écoulement vertical :

Les régimes d'écoulements verticaux sont généralement plus symétriques comparés aux écoulements horizontaux. Trois classes principales sont distinguées, selon la distribution spatiale des interfaces :

- **Écoulement séparé :**

L'écoulement séparé comprend des régimes en jet et annulaire. Dans ce type d'écoulement, deux phases circulent séparément sous la forme de jets parallèles.

- **Écoulement dispersé :**

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 de bulles, de gouttes ou de particules dans la phase continue.

- **Écoulement de transition :**

Pendant que la structure d'interface change graduellement, il existe une troisième classe qui est la combinaison de l'écoulement séparé et dispersé. La transition se produit souvent pendant le changement de phase dans des mélanges de liquide-vapeur. Cinq régimes peuvent être distingués : écoulement à (bulles /gouttelettes) et écoulement à bouchon et écoulement à forte coalescence, écoulement vaporeux annulaire, écoulement annulaire.

I.3.2.2. Écoulement incliné :

Dans les tubes inclinés, les configurations d'écoulement se sont avérées être les mêmes que dans les tubes verticaux excepté la limitation voir la disparition du régime d'écoulement pulsé (écoulement à forte coalescence) (Taitel et Dukler (1976) et Barnea et al. (1980)) [1].

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

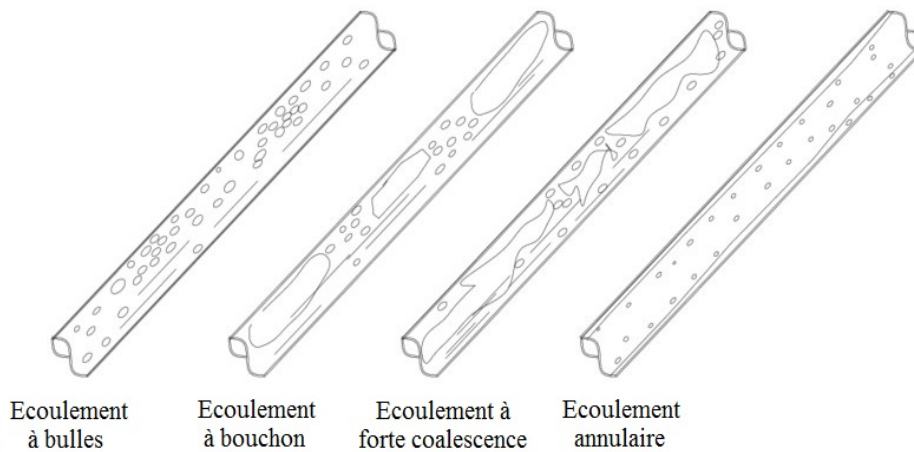


Figure 1.1 : Classification de l'écoulement diphasique en conduite inclinée [4].

I.3.2.3. Écoulement horizontal :

L'écoulement horizontal est caractérisé par une quatrième configuration appelée « le régime stratifié ». Généralement la plupart des régimes d'écoulement dans les tubes horizontaux montrent une structure dissymétrique ce qui est due aux effets de la pesanteur sur les fluides de densités différentes. Ceci entraîne une tendance à la stratification verticale où le liquide occupe la partie inférieure du tube et l'air ou la vapeur la partie supérieure.

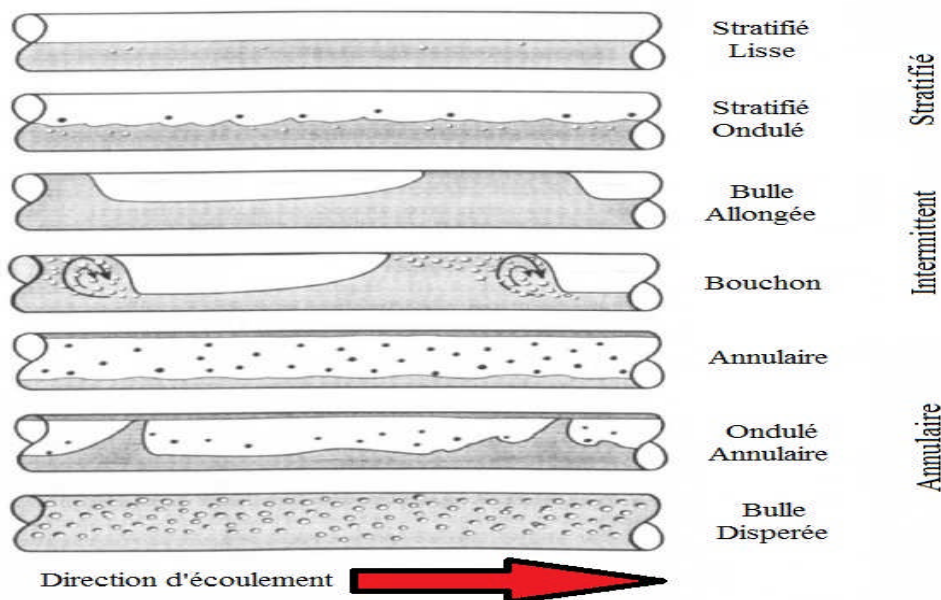


Figure 1.2 : Classification de l'écoulement diphasique en conduite horizontale [1].

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

I.4. Les paramètres descriptifs des écoulements diphasiques :

Dans tout ce qui suit, 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 [3] :

I.4.1. Fonction indicatrice de phase :

$$(M, T) = \begin{cases} 1 & \Rightarrow M \in \text{gaz} \\ 0 & \Rightarrow M \in \text{liquide} \end{cases}$$

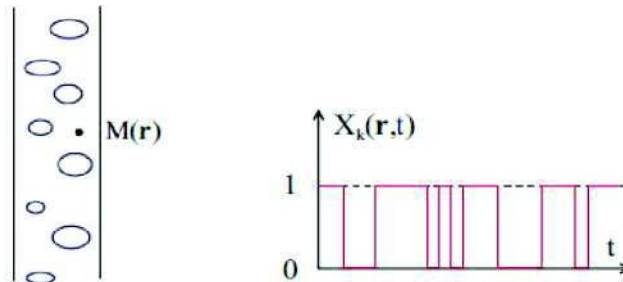


Figure 1.3 : Fonction indicatrice de phase[3].

I.4.2. Fraction de vide :

Dans les écoulements diphasiques, la fraction de vide est l'un des paramètres les plus importants à définir. Elle définit la section occupée par chaque phase.

Comme elle détermine les vitesses moyennes du liquide et de vapeur, elle représente un paramètre fondamental dans le calcul de la chute de pression et les comportements hydrodynamiques de l'écoulement.

$$\alpha = \frac{Ag}{A} ; \quad (1 - \alpha) = \frac{Af}{A} \quad (1.1)$$

Où :

Ag: La surface occupée par le gaz

Af: La surface occupée par le liquide

A: La surface totale de la section

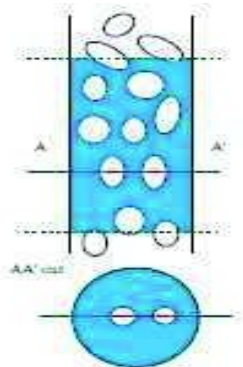


Figure 1.4 : Visualisation de vide [2].

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphases

I.4.3. Titre massique (réel) :

Dans le cas de l'équilibre thermodynamique, x correspond aux titres massiques de vapeur qu'est défini par :

$$x = \frac{W_g}{W_g + W_f} ; \quad (1 - x) = \frac{W_f}{W_g + W_f} \quad (1.2)$$

Il diffère du précédent du fait de la répartition non homogène des températures dans une section donnée. Il se détermine expérimentalement, par exemple par des méthodes d'absorption de rayon X, l'absorption étant différente pour l'eau et pour la vapeur.

Où :

W_g : Le débit massique du gaz

W_f : Le débit massique du liquide

I.4.4. La vitesse massique :

C'est le rapport du débit massique total à la section du passage de l'écoulement :

$$G = \frac{W}{A} = \rho u = \frac{u}{v} \quad (1.3)$$

I.4.5. La vitesse réelle :

C'est la vitesse à laquelle la phase évolue réellement le long du circuit. Elle est donnée par le rapport du débit volumique de la phase sur la section occupée par cette phase :

$$W_g = GAx ; \quad W_f = GA(1 - x) \quad (1.4)$$

$$u_g = \frac{W_g}{\rho_g + A_g} ; \quad u_f = \frac{W_f}{\rho_f + A_f} \quad (1.5)$$

$$u_g = \frac{Q_g}{A_g} ; \quad u_f = \frac{Q_f}{A_f} \quad (1.6)$$

$$u_g = \frac{Gx}{\rho_g \alpha} ; \quad u_f = \frac{G(1 - x)}{\rho_f(1 - \alpha)} \quad (1.7)$$

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphasiques

I.4.6. Titre volumique :

On appelle titre volumique β le rapport du débit volumique de vapeur au débit volumique défini par :

$$\beta = \frac{W_g}{Q_g + Q_f}; \quad (1 - \beta) = \frac{Q_f}{Q_g + Q_f} \quad (1.8)$$

Où :

Q_g : Le débit volumique du gaz

Q_f : Le débit volumique du liquide

I.4.7. La vitesse surfacique :

Si le débit volumique du liquide traversait la section totale, la vitesse serait ce qu'on appelle vitesse surfacique du liquide, la même définition s'applique au gaz :

$$j = \frac{Q}{A}; \quad j_g = \frac{Q_g}{A}; \quad j_f = \frac{Q_f}{A} \quad (1.9)$$

Ou en utilisant les équations (1.1) et (1.6) :

$$j_g = u_g \alpha = j \beta = \frac{Gx}{\rho_g}; \quad j_f = u_f (1 - \alpha) = j(1 - \beta) = \frac{G(1 - x)}{\rho_f} \quad (1.10)$$

$$G_g = j_g \rho_g = Gx; \quad G_f = j_f \rho_f = G(1 - x); \quad G = G_g + G_f \quad (1.11)$$

Une relation qui sera utile dans les sections suivantes exprime le rapport entre la vitesse de la phase gazeuse et la vitesse de la phase liquide (connu sous le nom de "rapport de glissement") en termes de qualité de masse et de fraction de vide. Elle est définie comme suit :

$$\frac{u_g}{u_f} = \frac{W_g \rho_f A_f}{W_f \rho_g A_g} = \left(\frac{x}{1 - x} \right) \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} \right) \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) \quad (1.12)$$

Le gradient de pression statique dans la direction de l'écoulement est représentée par $\left(\frac{dp}{dz} \right)$. Les valeurs positives de cette quantité indiquent une augmentation de la pression par rapport à la distance axiale. Les ingénieurs s'intéressent principalement à la perte de pression d'une position à une autre et celle-ci sera désignée par le symbole Δp définie par :

$$\Delta p = - \int_1^2 \left(\frac{dp}{dz} \right) dz \quad (1.13)$$

Chapitre I : Notions fondamentales sur les écoulements diphases

Le titre thermodynamique est donné par la relation suivante :

$$x = \frac{i - i_f}{i_{fg}} \quad (1.14)$$

Ce n'est qu'en cas d'équilibre thermodynamique que les valeurs de x obtenues à partir des équations (1.2) et (1.14) sont identiques.

Dans les systèmes d'ébullition et de condensation, il est souvent pratique d'utiliser la température de saturation comme donnée et de référer les autres températures du système à cette donnée. La matière à une température supérieure à la température de saturation est dite "surchauffée" par rapport à la température de saturation et la différence de température par rapport à la référence est désignée par le symbole ΔT_{SAT} . Le matériau à une température inférieure à la température de saturation est dit "sous-refroidi" par rapport à la température de saturation et la différence de température par rapport à la référence est désignée par le symbole ΔT_{SUB} qui est définie comme suit :

$$T - T_{SAT} = \Delta T_{SAT} \quad (1.15)$$

$$T_{SAT} - T = \Delta T_{SUB} \quad (1.16)$$

CHAPITRE II

Techniques d'identification du régime d'écoulement

Introduction :

L'identification du régime de la configuration d'écoulement peut se réaliser à l'aide de deux méthodes :

- Méthodes de détermination expérimentale à l'aide des observations visuelles et de l'utilisation des outils statistiques.
- Méthodes de prédiction du régime par l'approche mécaniste ou par l'utilisation des cartes.

La première partie de ce chapitre, parle de la structure de la configuration d'écoulement telle qu'elle a été observée expérimentalement et rapportée dans le littérature bibliographique.

La seconde partie passe en revue des différents modèles et corrélations de la fraction de vide utilisés pour l'identification du régime d'écoulement à l'aide des mécanistes.

La troisième partie passe en revue les différentes cartes d'écoulement diphasique reportées dans la littérature.

II.1. Observations expérimentales de la structure et forme des écoulements :

Les revues bibliographiques sur les cartes et configuration d'écoulement révèlent que l'existence de schéma d'écoulement diphasique dépend fortement de la configuration expérimentale et des variables d'écoulement. L'observation visuelle des schémas d'écoulement est nécessaire, car les paramètres d'écoulement diphasique tels que la fraction de vide, la chute de pression et les coefficients de transfert de chaleur sont directement influencés par la configuration d'écoulement. Différentes cartes d'écoulement existent dans l'écoulement descendant à deux phases en fonction de la répartition de la phase individuelle à travers la section transversale de la conduite. Cinq configurations d'écoulement distinctes ont été observées généralement, à savoir l'écoulement à bulles, bouchons, mousse, film tombant et annulaire pour l'écoulement descendant et bulles, bouchons, forte coalescence et annulaire pour l'écoulement ascendant (figure 2.1). Les schémas d'écoulement ont été identifiés sur la base d'une observation visuelle et de photographies fixes [5].

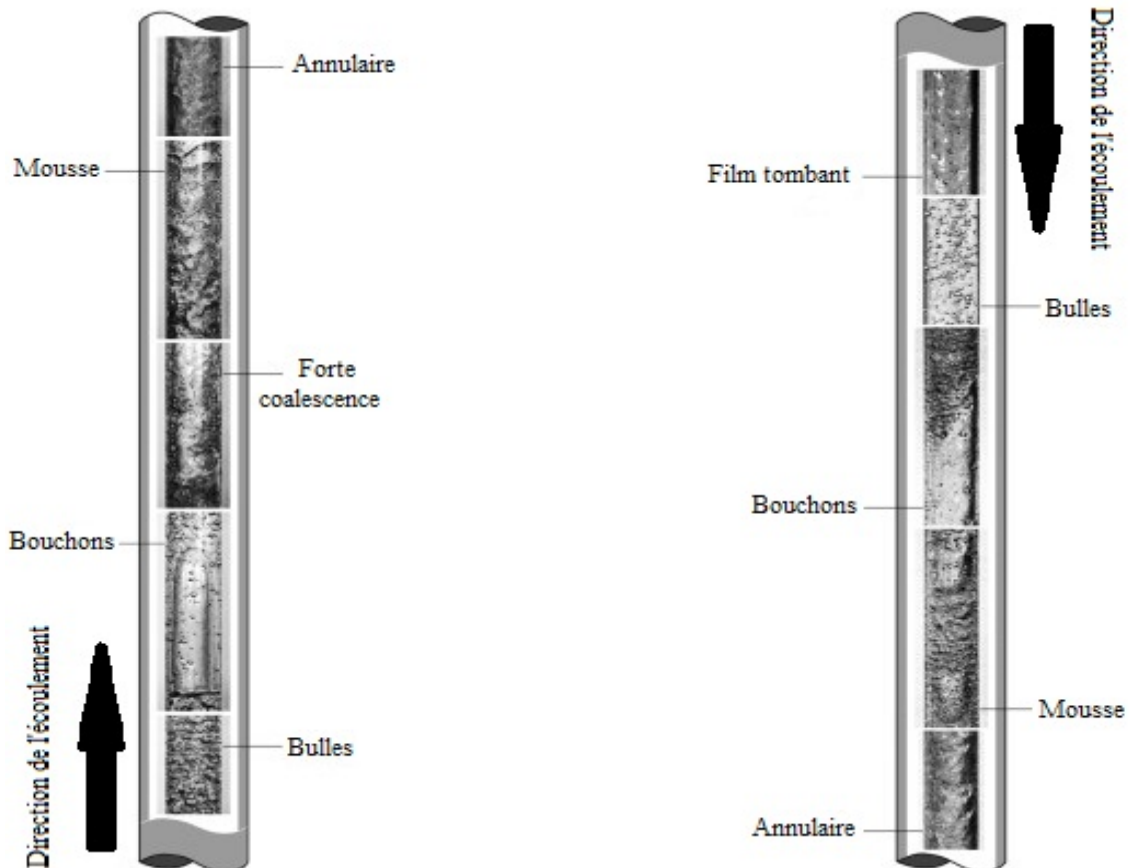


Figure 2.1 : Schémas d'écoulement vertical diphasique eau-air ascendant et descendant [5].

II.1.1. Écoulement à bulles :

L'écoulement à bulles existe à des débits massiques liquides modérés et à des débits gazeux faibles et il était constitué de bulles de grande taille et de forme allongée. À mesure que le débit liquide augmentait, la phase gazeuse se dispersait sous forme de minuscules bulles sphériques dans la phase liquide continue appelée écoulement à bulles dispersé. La plage de fraction de vide associée à l'écoulement à bulles est comprise entre 0,025 et 0,293.

La figure 2.1 rapportée par Taitel et al montre la configuration d'écoulement pour un débit de gaz constant et à un débit de liquide croissant. Au fur et à mesure que le débit de liquide augmente, comme le montre la figure 2.2 (A) à (E), les grandes bulles se soulèvent en de minuscules bulles et on observe un écoulement à bulles dispersées. Le mécanisme de la transition de l'écoulement à bulles vers l'écoulement à bulles dispersées peut être expliqué à la figure 2.1. L'écoulement à bulles en deux phases est caractérisé par l'équilibre entre les forces gravitationnelles, d'inertie, de flottabilité et de tension superficielle.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Lorsque le mélange à deux phases s'écoule dans une conduite en direction descendante, pour les faibles débits de gaz, les effets de flottabilité dominent les effets d'inertie et les bulles de gaz ont tendance à augmenter en direction ascendante.

Cette tendance ascendante des bulles est opposée au liquide qui coule vers le bas et exerce une contrainte de cisaillement sur la surface des bulles. Les effets d'inertie et, par conséquent, la contrainte de cisaillement exercée par la phase liquide augmente avec l'augmentation du débit liquide, ce qui entraîne la désintégration de grandes bulles en bulles de petites tailles, finement dispersées et uniformément réparties dans la phase liquide continue.

Ishii et al. (2004) ont observé un phénomène semblable avec une vitesse superficielle du liquide croissante et ont justifié la désintégration des bulles en raison de l'impact des tourbillons turbulents sur la phase discrète.

La distinction entre l'écoulement à bulles et l'écoulement à bulles dispersées peut être d'une importance significative pour l'étude du transfert de chaleur et de masse dans l'écoulement à deux phases en raison de la grande zone interfaciale disponible dans l'écoulement à bulles dispersées.

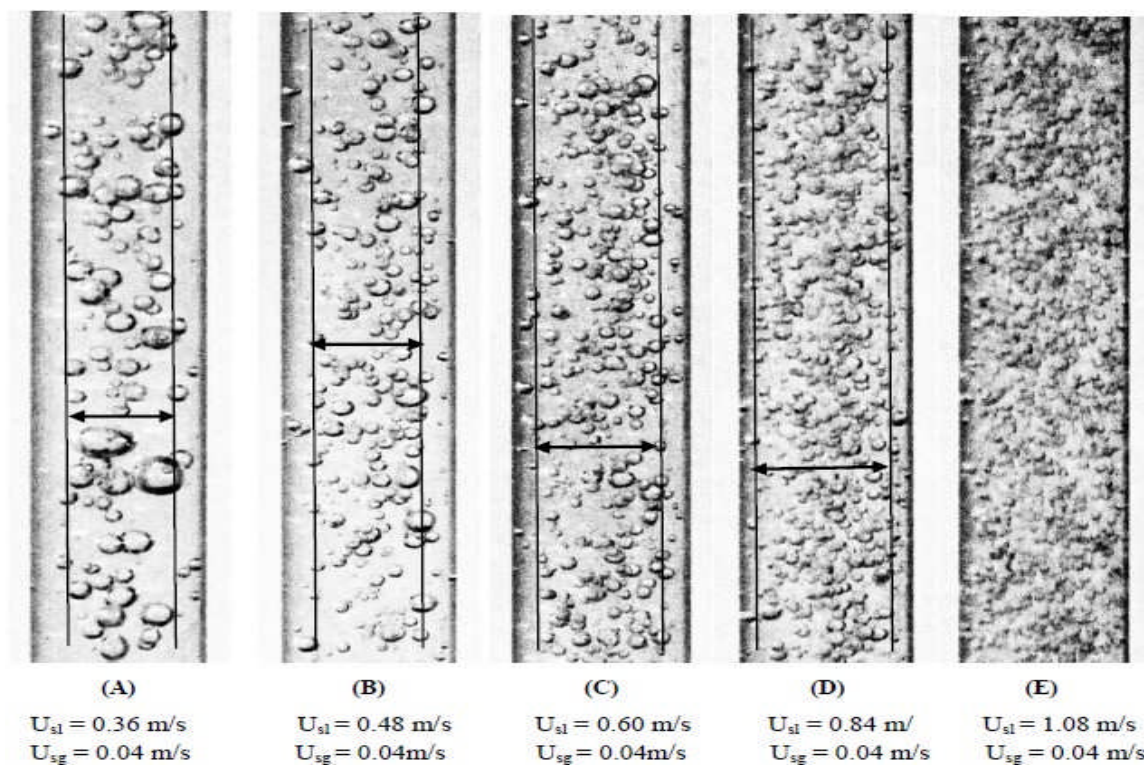


Figure 2.2 : Effet de l'augmentation de la vitesse superficielle du liquide sur la forme, la taille et la distribution des bulles [5].

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

L'étude a été menée par Oshinowo et Charles l'effet de l'augmentation du débit de gaz sur la forme et la taille des bulles, le débit de liquide a été maintenu constant et le débit de bulles a été soigneusement observé pour le débit de gaz variable. Les figures 2.3 (A) à (C), montrent que les bulles de gaz s'allongent dans le sens latéral et ont tendance à s'agglomérer avec l'augmentation du débit de gaz. L'autre phénomène observé dans l'écoulement à bulles était le mouvement en zigzag et en spirale des bulles d'air. Cela a été attribué au fait que, lorsque les bulles ont tendance à augmenter en raison des effets de flottabilité dominante, elles ont tendance à suivre la voie de moindre résistance et sont légèrement décalées par rapport à l'axe de la conduite. Ce mouvement en zigzag des bulles d'air est illustré à la figure 2.3. (D).

Les bulles sont concentrées dans une région près de l'axe de la conduite, alors que la région à proximité de la paroi de la conduite se composait d'une phase liquide continue. Ce phénomène a été désigné par Oshinowo (1971) sous le nom de carottage par l'écoulement à bulles. Usui et Sato (1989) et Crawford (1983) ont observé une répartition similaire des bulles dans la section transversale de la conduite. Oshinowo (1971) et Usui et Sato (1989) ont expliqué le mécanisme qui sous-tend le carottage de l'écoulement pétillant. Ils ont signalé que la portance de cisaillement exercée en raison des vitesses de translation relatives de chaque phase donne lieu à un phénomène de carottage.

Oshinowo (1971) a déduit qu'en raison de la direction opposée de mouvement des bulles d'air et de mouvement du liquide, un mouvement de rotation est transmis aux bulles d'air en raison de la différence de vitesse au sommet et au fond des bulles. Ainsi, le mouvement de rotation couplé avec le mouvement de translation des bulles et en raison du gradient de vitesse du liquide s'écoulant vers le bas, une vitesse plus élevée est ressentie sur le dessus et une vitesse comparativement plus faible au bas de la bulle d'air. Ainsi, la différence de vitesse donne lieu aux gradients de pression résultant en action de la force de portance agissant sur les bulles d'air dans une direction normale à l'écoulement, vers l'axe de la conduite et loin de la paroi. Cette force de portance est donc une conséquence de l'effet Magnus ou de l'effet Spin bien connu et est illustrée à la figure 2.4.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

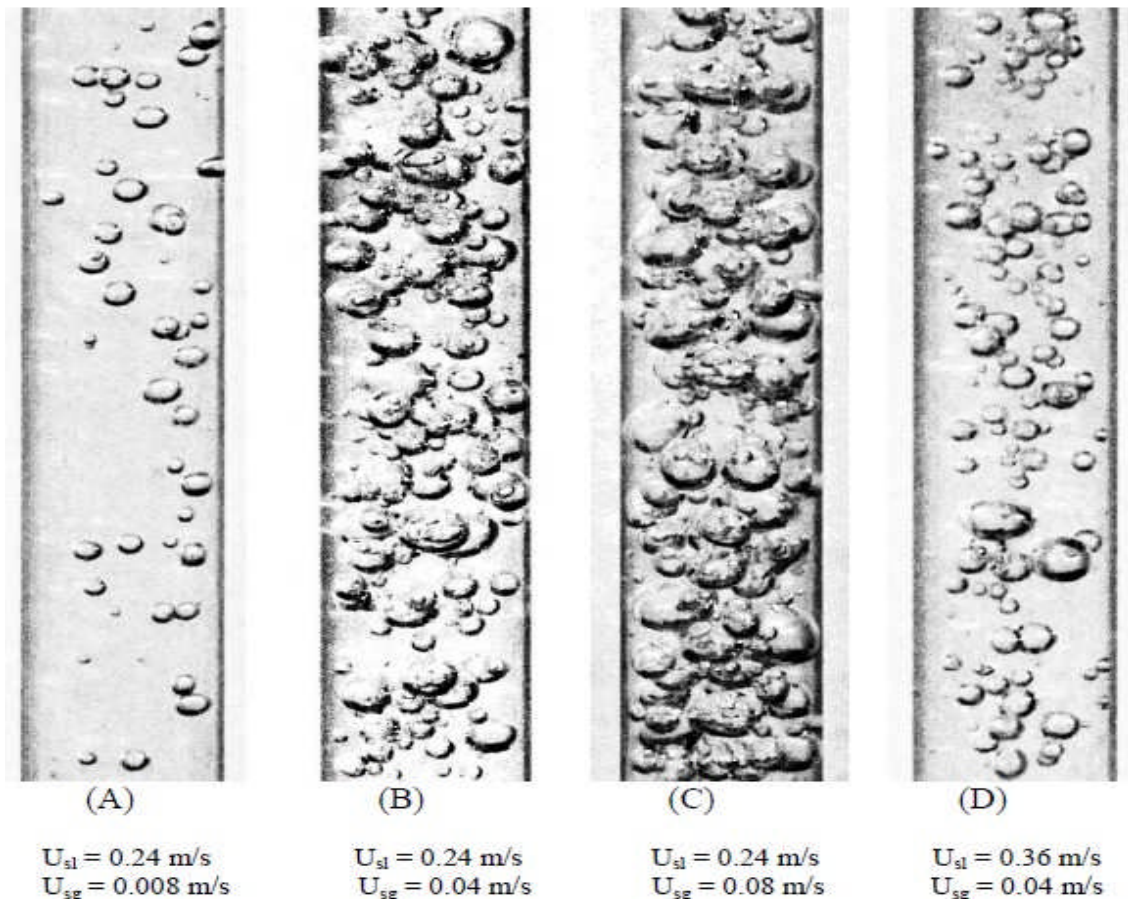


Figure 2.3 : Effet de l'augmentation de la vitesse superficielle du gaz sur la taille, la forme et la distribution des bulles [5].

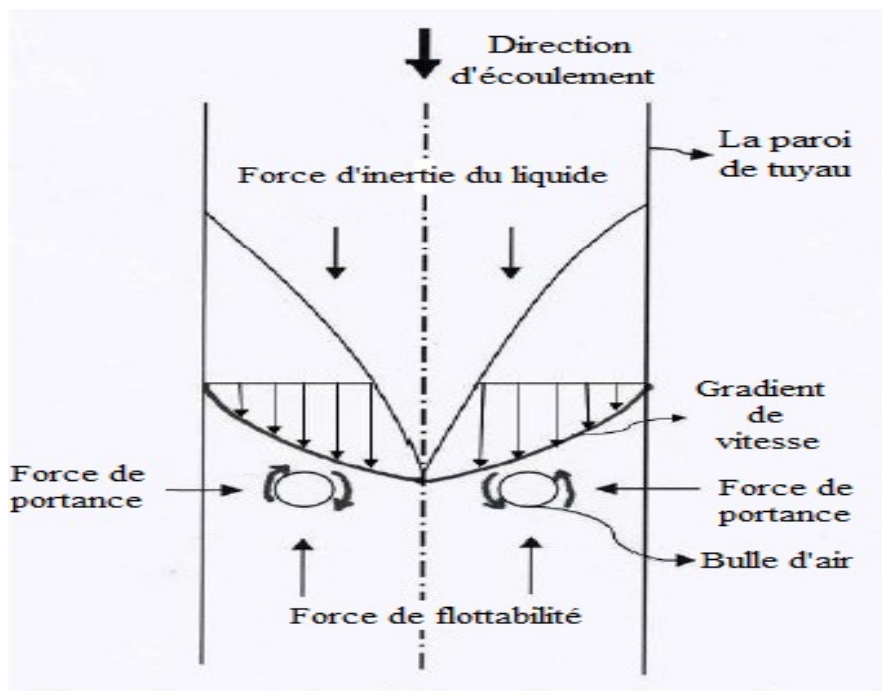


Figure 2.4 : Phénomène de carottage résultant de la force de portance [5].

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Kashinsky et Randin (1999) ont étudié la structure du courant circulant vers le bas dans une conduite de 0,043 m de diamètre. Ils ont utilisé des sondes électromécaniques pour mesurer la fraction de vide, la vitesse et la répartition des contraintes de cisaillement dans la section transversale de la conduite. Il a été déduit des profils de la fraction de vide et de la vitesse que l'effet de la force de portance transversale agissant sur les bulles augmentant avec la vitesse relative par rapport à la vitesse du liquide et à la force de répulsion de la paroi due aux gradients de vitesse déterminent la distribution des bulles à travers la section transversale du tuyau. En particulier pour l'écoulement à bulles à deux phases vers le bas, la force de portance latérale et la force de répulsion de la paroi agissent dans la même direction et, par conséquent, les bulles restent dans une région près de l'axe de la conduite. Kashinsky et Randin (1999) ont signalé que l'écoulement à bulles vers le bas est caractérisé par un profil de fraction de vide à pic central et que la région près de la paroi est presque exempte de bulles. Cette conclusion se fondait sur le profil de fraction de vide tracé à la distance de la paroi de la conduite.

Des résultats similaires ont été observés par Usui et Sato (1989) et Hibiki et al. (2004). Les résultats de Kashinsky et Randin (1999) et d'Hibiki et al. (2004) sont présentés à la figure 2.4. La distribution du vide dans la section transversale de la conduite a une valeur nulle près de la paroi de la conduite ; les valeurs de fraction de vide local augmentent graduellement avec la distance de la paroi de la conduite et s'aplatissent soudainement pour indiquer l'existence de la phase gazeuse ou de bulles.

Ce profil de distribution des fractions de vide peut être interprété comme l'existence d'un phénomène de carottage dans un écoulement à bulles descendant à deux phases. Le diamètre de la région du noyau occupée par des bulles près de l'axe de la conduite et entourée d'une phase liquide continue a été reconnu comme étant le diamètre du noyau. Le diamètre du noyau augmente avec le débit de l'une ou l'autre des phases, tandis que le débit de l'autre phase reste constant.

Oshinowo (1971) a observé un phénomène semblable : le diamètre du noyau augmente avec le débit de gaz à un débit de liquide constant. Toutefois, il a signalé que l'effet de l'augmentation du débit de liquide sur le diamètre du noyau ne pouvait pas être déduit en raison du manque de données. La figure 2.3 montre l'effet de l'augmentation du débit de liquide sur la taille, la forme et la distribution des bulles. De la figure 2.3(A) à (E), on remarque que le diamètre du noyau augmente définitivement avec l'augmentation du débit de liquide.

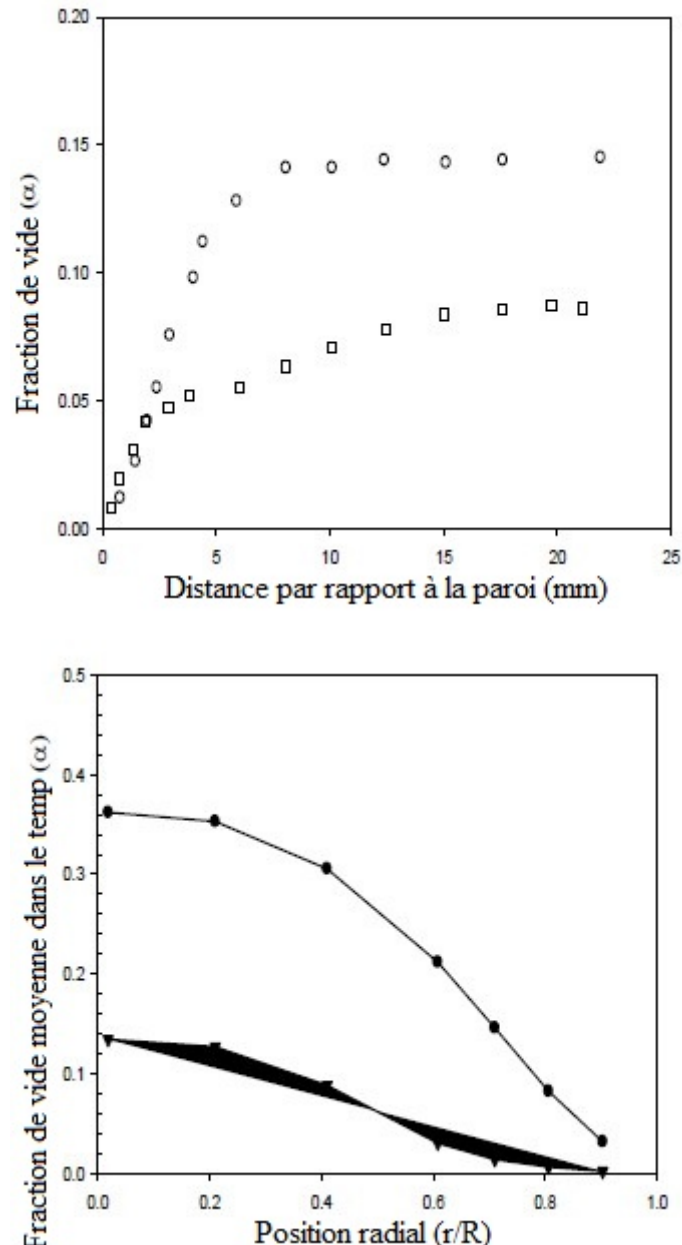


Figure 2.5 : Répartition de la fraction de vide dans le noyau de la conduite, adoptée par Kashinsky et Randin (1999) et Hibiki et al. (2004) [5].

II.1.2. Écoulement à bouchons :

L'écoulement à bouchon se produit à des débits modérés de gaz et de liquide. Avant le passage de l'écoulement à bulles à l'écoulement à bouchons, des bulles de grand diamètre sont observées. L'agglomération de ces bulles a établi l'écoulement à bouchons. Les bouchons liquides et les bulles de gaz se succédaient.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Les bouchons liquides et les bulles de gaz occupent presque toute la section transversale de la conduite entourée d'une mince pellicule liquide adjacente à la paroi. Au tout début de l'écoulement des bouchons, des bouchons alternés et de grandes bulles de longueur irrégulière observées à intervalles indéterminés.

L'augmentation du débit de gaz a entraîné l'écoulement à intervalles réguliers de bouchons de longueur identique. La forme et la direction du mouvement d'un bouchon sont grandement influencées par le changement des débits de liquides et de gaz. À des faibles débits gazeux et à des débits liquides modérés existe un bouchon typique de Taylor dont le noyau était dirigé vers le haut, dans une direction opposée à la direction du débit moyen.

Même si le liquide s'écoule vers le bas. Cela peut être dû à la nature dominante de la tension superficielle et à la force de flottabilité agissant à l'opposé de la force d'inertie de la phase liquide. L'augmentation du débit de gaz a entraîné le bouchon plat en forme de tête avec un grand nombre de petites bulles d'air entraînées dans le bouchon liquide, comme le montre la figure 2.6. Sekoguchi et al. (1996) ont signalé que la vitesse de glissement des gaz dans des conditions semblables à celles de bouchon de Taylor était essentiellement négative.

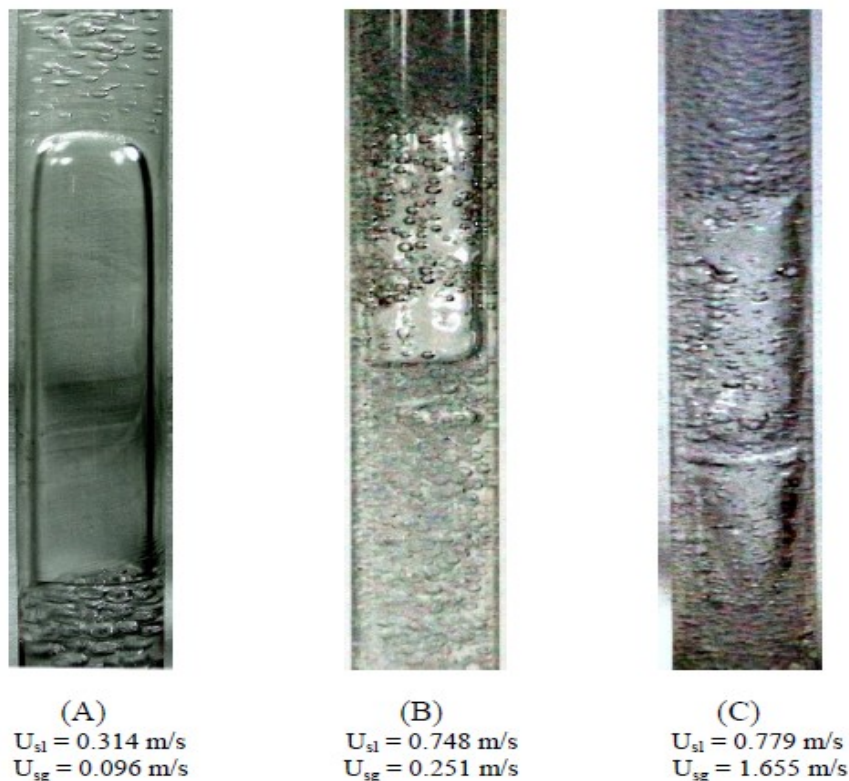


Figure 2.6 : Influence de l'augmentation des débits de phase sur la forme et le mouvement du bouchon [5].

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Fabre et Line (1992) ont remarqué que contrairement à l'écoulement vertical ascendant où les bulles restent centrées, l'écoulement vertical descendant fait bouger les bulles de façon excentrique, la tension de surface agissant pour rétablir la symétrie et à mesure que le diamètre de la conduite augmente, les forces de tension superficielle s'affaiblissent, ce qui entraîne des problèmes de stabilité de l'écoulement.

Martin (1976) a effectué une analyse détaillée de l'écoulement de bouchon dans un écoulement à deux phases vers le bas et a signalé que l'écoulement d'une bulle vers le bas peut monter ou descendre, selon l'amplitude relative des vitesses du gaz et du liquide. Il a observé que la forme de la bulle ressemble à un bouchon du Taylor typique seulement pour les petites vitesses de liquide et les tuyaux de petits diamètres et il était très difficile d'obtenir un bouchon du Taylor stable dans les tuyaux de grands diamètres. Martin (1976) et Usui et Sato (1989) ont signalé que les bulles étaient déformées et se déplaçaient de façon excentrique vers l'axe de la conduite et à proximité de la paroi de la conduite.

Sekoguchi et al. (1996) ont étudié l'écoulement à bouchons en phase descendante dans un tuyau de 0,025 m de diamètre et l'ont classé en trois sous-types principaux. Cette classification reposait essentiellement sur l'aspect physique du bouchon illustrée à la figure 2.7.

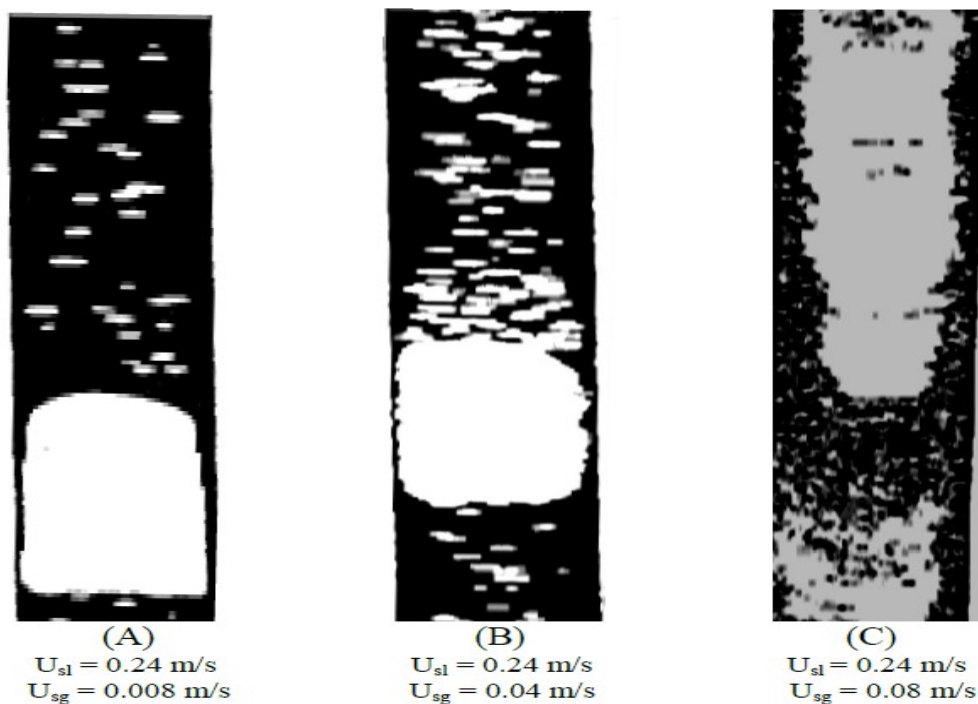


Figure 2.7 : Influence des vitesses superficielles de phase sur la forme du bouchon et sa direction de mouvement rapportée par Sekoguchi et al. (1996) [5].

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

La discussion ci-dessus sur l'écoulement à bouchons en deux phases vers le bas confirme que la structure physique de bouchon à air est fonction du diamètre de la conduite, dépend dans une large mesure des propriétés du fluide et le bord d'attaque du bouchon d'air peut prendre une forme concave ou convexe en fonction des débits des phases individuelles.

La conclusion est que le mouvement ascendant, descendant et excentrique de bouchon d'air et la direction et la forme du bouchon affectent l'ampleur de la vitesse relative ou alternativement la vitesse de dérive et donc les valeurs de fraction de vide.

II.1.3. Écoulement à mousse :

Ce type d'écoulement a été observé à des débits élevés de liquide et de gaz modérés. Le début de l'écoulement à mousse a été marqué par des bouchons en mouvement rapide et déformés. L'écoulement à mousse ne peut être distingué de celui à bouchons que sur la base de mouvement rapide, les bouchons déformés et de courte longueur et l'aspect de mousse au mélange de l'écoulement. La plage de la fraction de vide associée au régime de mousse était de 0,41 à 0,73. Avec l'augmentation du débit de gaz, la bulle de gaz semblait être plus déformée et finalement fusionnée dans la phase liquide donnant l'apparence mousseuse à l'écoulement. Comme le montre la figure 2.9 (C), les bouchons en mouvement rapide observés dans le régime d'écoulement à bouchons étaient beaucoup plus petits. La transition vers l'écoulement de mousse a été réalisée en augmentant le débit de gaz dans le régime de bouchon et le débit de liquide dans le régime de film tombant. Oshinowo (1971), Troniewski et Spisak (1987) et Yijun et Rezkallah (1993) ont signalé l'apparition d'un écoulement de mousse en deux phases vers le bas.

II.1.4. Écoulement à forte coalescence :

Ce genre de régime est observé en écoulement ascendant lorsque le débit du gaz est augmenté, à partir de l'écoulement à bouchons de sorte que les bouchons sont désintégrés. De nombreuses recherches montrent que l'écoulement à forte coalescence existe juste pour l'écoulement ascendant (Oshinowo et Charles, 1974 ; Bhagwat et Ghajar, 2012).

Dans la conduite à grand diamètre, lorsque le débit de gaz augmente, des bulles de Taylor se tordent et se cassent pour former un régime instable dans la conduite, les deux phases liquide et gazeuse sont instables.

II.1.5. Écoulement à film tombant :

Écoulement à film tombant apparaît pour des débits de gaz liquides très faibles et modérés. Cet écoulement est caractérisé par un noyau gazeux entouré d'une fine pellicule

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

liquide se déplaçant le long de la paroi de la conduite. Il s'agit d'un type unique de schéma d'écoulement observé uniquement dans l'écoulement vertical descendant. Crawford (1983) mentionne que l'écoulement à film tombant est essentiellement un écoulement séparé dans les tuyaux verticaux descendants et reconnu comme un écoulement stratifié pour les tuyaux en déclin. Au début de la chute du film, le film semblait mince et ondulé.

Des tâches sèches occasionnelles ont été observées à la surface de la conduite. Avec l'augmentation des débits liquides, l'épaisseur du film a augmenté et est devenue ondulée avec des bulles d'air entraînées dans le film.

Les bulles dans le film liquide ont progressivement disparu avec des débits de gaz croissants, selon Oshinowo (1971) et Crawford (1983). La photographie de la chute du film illustrée dans la figure 2.8 confirme l'existence d'un écoulement en film avec et sans entraînement de bulles. Oshinowo (1971) a fait des observations au sujet de l'apparition de petites bulles dans le film qui tombaient. Il l'a reconnu comme un écoulement à bulles qui tombant. Yamazaki et Yamaguchi (1979) ont observé une chute de type pellicule. Ils l'ont appelé un écoulement de paroi mouillée ou un écoulement annulaire avec interface lisse de liquide gazeux. Crawford (1983) a observé le ruissellement de la pellicule liquide en aval le long de la paroi de la conduite principalement en raison de l'influence de la gravité et l'a appelée « faible énergie » ou « écoulement annulaire paresseux ».



$U_{sl} = 0.188 \text{ m/s}$
 $U_{sg} = 2.949 \text{ m/s}$



$U_{sl} = 0.063 \text{ m/s}$
 $U_{sg} = 3.056 \text{ m/s}$

Figure 2.8 : Écoulement à film tombant avec et sans entraînement de bulle d'air dans le film liquide [5].

II.1.6. Écoulement annulaire :

L'écoulement annulaire s'est produit à des valeurs élevées de débit de gaz et de liquide. La distribution de deux phases dans la conduite était caractérisée par un noyau gazeux entouré d'un liquide se déplaçant rapidement le long de la paroi de la conduite. La différence majeure entre le film tombant et l'écoulement annulaire est le débit élevé des phases individuelles associées à l'écoulement annulaire.

Bien qu'il n'y ait pas de grande différence dans les valeurs de fraction de vide associées aux deux schémas d'écoulement, les valeurs de la chute de pression et du coefficient de transfert de chaleur peuvent être significativement différentes pour les deux régimes d'écoulement.

Certains chercheurs catégorisent l'écoulement annulaire sous forme de brouillard, l'écoulement annulaire ou de l'écoulement vaporeux-annulaire. Dans l'écoulement vaporeux-annulaire ou vaporeux, des gouttes liquides sont entraînées dans le noyau gazeux central. L'écoulement annulaire a été observé par plusieurs chercheurs (Golan (1968), Oshinowo (1971), Yamazaki et Yamaguchi (1979), Usui et Sato (1989) et d'autres chercheurs).

Les cinq principaux schémas d'écoulements sont illustrés à la figure 2.9. Pour un débit de masse d'eau constant, l'écoulement à bulles, à bouchons, à film et d'annulaire apparaît en séquence avec un débit de gaz croissant.

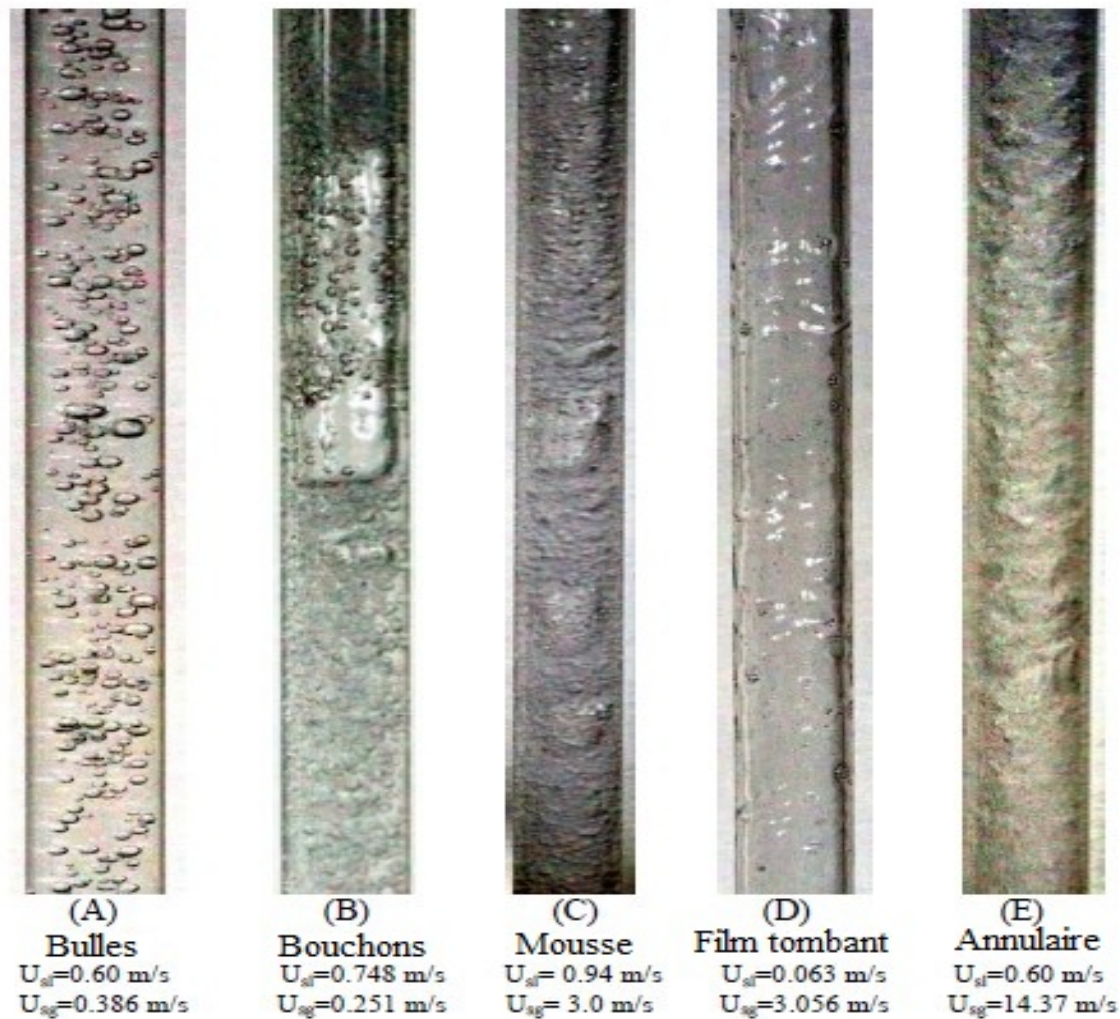


Figure 2.9 : Schémas d'écoulement diphasique descendant[5].

II.2. Fraction de vide :

Dans cette partie, nous passons en revue les différents modèles et corrélations de la fraction de vide. Contrairement à la littérature exhaustive et aux corrélations de fraction de vide disponibles pour l'écoulement vertical ascendant, peu de recherches ont été effectuées jusqu'à présent pour l'écoulement diphasique descendant. Les corrélations de fraction de vide disponibles dans la littérature peuvent être classées en termes de méthode et de physique impliquées dans le calcul de ces corrélations. De plus, elles peuvent être sous-catégorisées comme dépendantes du débit, indépendantes du débit et corrélations non développées, mais applicables au débit descendant à deux phases. La plupart des corrélations disponibles pour l'écoulement descendant à deux phases dépendent du type d'écoulement conçu spécialement par ce type d'écoulement à bulles et d'écoulement à bouchons et basé sur le concept de modèle d'écoulement de la dérive.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Cette section de la recension des écrits met en évidence les corrélations disponibles pour prédire la fraction de vide dans l'écoulement diphasique descendant et certaines des corrélations qui ne sont pas conçues pour l'écoulement diphasique descendant, mais qui sont applicables en raison de leur flexibilité en tant que modèle d'écoulement de la vitesse dérive [5].

II.2.1. Concept de fraction de vide :

La fraction de vide est l'un des paramètres les plus importants utilisés pour caractériser l'écoulement diphasique. Il existe différentes définitions associées à la fraction de vide, par exemple la fraction de vide locale, la fraction de vide transversale et la fraction de vide volumétrique. Ces définitions sont fondées sur la technique utilisée pour mesurer la fraction de vide. La fraction de vide locale et transversale représente la fraction de vide à un point donné du canal d'écoulement (tuyau) et sa distribution à travers la section transversale du tuyau. Ces définitions reflètent également la méthode de mesure, c'est-à-dire que la fraction de vide est mesurée à l'aide d'une sonde miniature et de moyens optiques ou électromécaniques.

La fraction de vide transversal est définie comme suit :

$$\alpha = \frac{A_g}{(A_g + A_l)}$$

Où A_g et A_l sont la section transversale de la conduite (canal) occupée par les phases gazeuse et liquide, respectivement.

Dans la plupart des études expérimentales portant sur l'écoulement diphasique, la fraction de vide est mesurée à l'aide de la méthode des vannes à fermeture rapide et, par conséquent, la fraction volumétrique du vide est définie à base de volumes de gaz et de liquide emprisonnés dans une section de tuyau. Il est défini comme suit :

$$\alpha = \frac{V_g}{(V_g + V_l)}$$

Où V_g et V_l sont le volume de canal occupé par les phases gazeuse et liquide, respectivement.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

La qualité du débit à deux phases définies comme le rapport du débit massique de la phase gazeuse sur le débit massique du mélange est parfois confondue avec la définition de la fraction de vide.

Il convient de noter que, bien que la définition de la fraction nulle et de la qualité soit analogue, ces deux termes sont tout à fait différents sur le plan conceptuel. La qualité est exprimée en termes de masse et est fonction de la densité de phase et de la fraction de vide.

Une autre définition importante du débit en deux phases est la fraction du débit volumétrique de gaz désignée β dans la présente étude. Il indique le rapport du débit volumétrique du gaz sur le débit volumétrique du mélange écrit comme suit :

$$\beta = Q_g / (Q_g + Q_l)$$

D'où Q_g et Q_l sont les débits volumétriques des phases gazeuse et liquide, respectivement. La différence majeure entre la fraction de vide (α) et la fraction du débit volumétrique des gaz (β) est que la première considère le glissement entre les deux phases, une caractéristique importante du débit de deux phases en raison de la différence de densité des phases respectives ; tandis que ce dernier suppose que les deux phases se déplacent avec la même vitesse et donc appelé fraction vide dans l'écoulement homogène.

Les caractéristiques susmentionnées de la variation de la fraction de vide avec les vitesses superficielles du gaz et du liquide sont cohérentes pour les écoulements verticaux ascendants et descendants, comme le montrent les figures 2.10 et 2.11, respectivement. Dans les figures 2.10 et 2.11, regroupements de divers schémas d'écoulement sur la variation de la fraction de vide avec la vitesse superficielle du gaz les courbes sont affichées.

Pour l'écoulement vertical ascendant, les écoulements à bulles et à bouchons sont limités à une vitesse superficielle de gaz de faible amplitude avec des plages de fraction de vide de $0,05 < \alpha < 0,5$ et $0,2 < \alpha < 0,7$, respectivement.

L'écoulement à mousse se trouve dans la vitesse superficielle du gaz à mi-parcours avec une plage de fraction de vide de $0,3 < \alpha < 0,8$. À une vitesse de gaz superficielle donnée, l'écoulement à forte coalescence a une fraction de vide plus élevée que l'écoulement à mousse. L'écoulement annulaire se trouve dans la région de vitesse du gaz superficiel élevé avec une plage de fraction de vide de $0,7 < \alpha < 0,9$.

Pour l'écoulement vertical descendant, l'écoulement à bulles et à bouchons sont limités à une vitesse superficielle de gaz de faible amplitude avec des plages de fraction de vide de

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

$0,02 < \alpha < 0,3$ et $0,2 < \alpha < 0,7$, respectivement. Les écoulements à mousse et à film tombant se trouvent dans la vitesse superficielle des gaz à moyenne portée avec des plages de fraction de vide de $0,4 < \alpha < 0,7$ et $0,7 < \alpha < 0,9$, respectivement.

L'écoulement annulaire se trouve dans la région de vitesse du gaz superficiel élevé avec une plage de fraction de vide de $0,7 < \alpha < 0,9$.

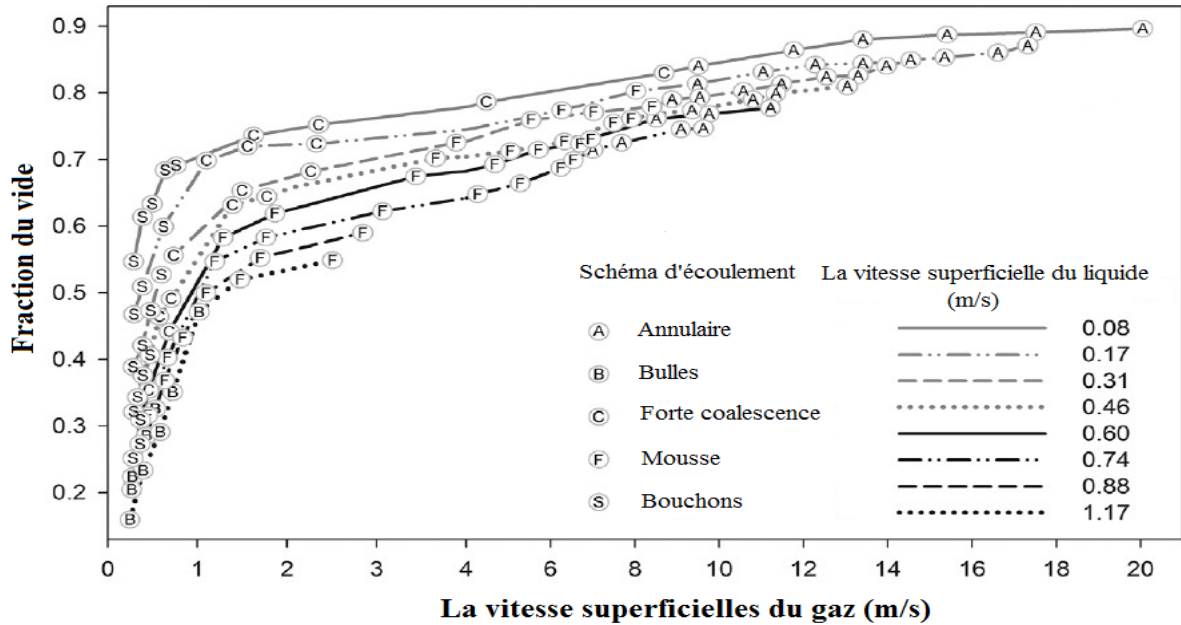


Figure 2.10 : Variation de la fraction de vide avec les vitesses superficielles du gaz et du liquide pour l'écoulement vertical ascendant [5].

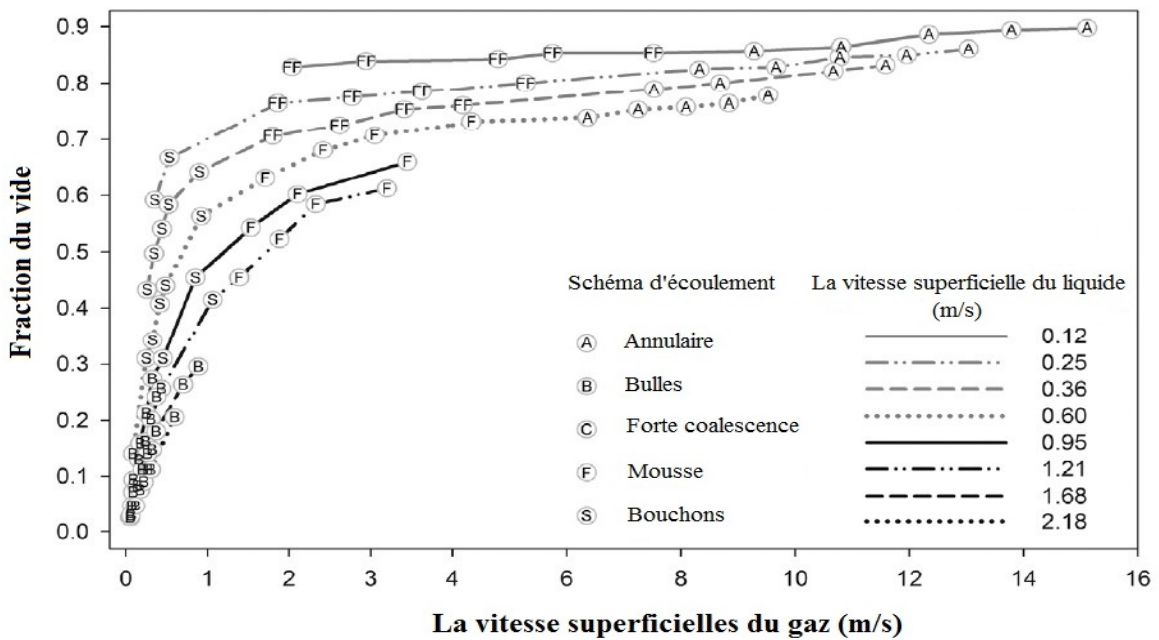


Figure 2.11 : Variation de la fraction de vide avec les vitesses superficielles du gaz et du liquide pour un écoulement vertical descendant [5].

II.2.2. Corrélations empiriques de la fraction de vide :

Comme mentionné précédemment, les corrélations de la fraction de vide peuvent être classées comme empiriques ou semi-empiriques. La présente section présente les corrélations de la fraction vide fondées sur les données expérimentales et donc catégorisées comme corrélations empiriques.

Sokolov et al. (1969) ont proposé une corrélation qui relie la fraction nulle descendante à la fraction nulle ascendante. La corrélation a une forme simple montrée ci-dessous,

$$\alpha_{dn} = 2\beta - \alpha_{up}$$

Yijun et Rezkallah (1993) ont comparé cette corrélation avec leurs propres données et ont trouvé un accord général, sauf à des très faibles valeurs de la fraction vide de $\alpha < 0,2$. La représentation graphique de cette comparaison est présentée dans Yijun et Rezkallah (1993). Ils ont constaté que dans cette région de la fraction de vide de la corrélation Sokolov et al. (1969) peut être remplacé par la corrélation d'Armand (1946) écrite comme suit :

$$\alpha_{dn} = \frac{2\alpha_{up}}{C_A} - \alpha_{up} = 1,4\alpha_{up}$$

D'où C_A est le coefficient Armand avec une valeur de 0,83 dans cette région de faible fraction de vide.

Yijun et Rezkallah (1993) ont effectué une étude expérimentale de l'écoulement diphasique dans une conduite de 0,095 m de diamètre et une combinaison air-eau. Ils ont conclu que la fraction de vide devrait être fonction des propriétés physiques du fluide, du diamètre de la conduite et des vitesses de phase. Il a été proposé que la corrélation de la fraction de vide pour un écoulement descendant puisse être représentée en termes de fraction vide dans un écoulement ascendant.

La corrélation est représentée comme suit :

$$\alpha_{dn} = 0,076 + 0,074Re_l^{0,05}\alpha_{up} ; \text{Pour } Re_l < 17400$$

$$\alpha_{dn} = 0,026 + 0,058Re_l^{0,05}\alpha_{up} ; \text{Pour } Re_l > 17400$$

Le Re_l et le Re_g sont les nombres de Reynolds superficiel liquide et gazeux indiqué comme,

$$Re_l = \frac{\rho_l U_{sl} D}{\mu_l} \text{ et } Re_g = \frac{\rho_l U_{sg} D}{\mu_g}$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

La fraction de vide d'écoulement ascendant rapporté par Yijun et Rezkallah (1993) est écrite comme suit :

$$\frac{\alpha_{up}}{1 - \alpha_{up}} = \frac{x}{1 - zx}$$

Avec :

$$z = Re_l^n [Re_g Fr_g]^{-m}$$

Où z est un paramètre de pondération qui est une fonction des schémas d'écoulement et indique l'augmentation de la fraction vide avec l'augmentation du débit de gaz. Les valeurs des puissances obtenues étaient respectivement de 0,95 et 0,332 pour n et m . Yijun et Rezkallah (1993) ont vérifié la corrélation ascendante de la fraction de vide par rapport aux données d'autres chercheurs, mais la corrélation descendante de la fraction de vide n'a été comparée qu'avec la corrélation de Sokolov et al. (1969) et pour leurs propres données. L'erreur en pourcentage entre les valeurs mesurées et prévues de la fraction de vide s'est avérée être inférieure à $\pm 25\%$.

Chisholm (1973) a proposé une corrélation pour prédire la fraction nulle. Cette expression était basée sur la relation α - β et s'appliquait à une plage de $\beta = 0,4$ à $0,9$. La corrélation prend une forme compliquée en termes de rapport de densité et de qualité.

Une version simplifiée de cette corrélation est indiquée dans l'équation suivante :

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + (1 + \beta)^{0,5}}$$

Yamazaki et Yamaguchi (1979) ont établi une corrélation entre la fraction de vide (α) et la concentration volumétrique du débit gazeux (β). La corrélation avait la forme suivante :

$$\frac{\alpha}{(1 - \alpha)(1 - K\alpha)} = \frac{\beta}{(1 - \beta)}$$

D'où « K » est une constante expérimentale définie comme :

$$K = 2,0 - \frac{0,4}{\beta} \text{ pour } \beta \leq 0,2 \text{ et } K = -0,25 + 1,25 \beta \text{ pour } \beta \geq 0,2$$

Ainsi, en utilisant cette corrélation, la fraction de vide peut être déterminée sur la base des valeurs β et indépendamment du schéma d'écoulement. Yamazaki et Yamaguchi (1979) ont analysé la variation de la fraction vide par rapport à la concentration volumétrique du débit de gaz. On a observé que la relation entre α - β a changé de pente à une valeur de $\beta = 0,2$ et, par conséquent, les deux expressions différentes ont été développées pour les valeurs

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

K afin de tenir compte de cet écart. La corrélation a été vérifiée par rapport à 560 points de données et l'erreur en pourcentage entre les valeurs mesurées et les valeurs prévues de la fraction de vide s'est avérée être inférieure à 20 % [6].

II.2.3. Modèle d'écoulement homogène :

Dans une hypothèse d'écoulement unidimensionnel, la fraction de vide α est définie comme la fraction de la zone d'écoulement occupée par la phase gazeuse [7] :

$$\alpha = \frac{A_G}{A} \quad \text{et} \quad 1 - \alpha = \frac{A_L}{A}$$

La position des deux phases n'est pas préoccupante dans ce modèle. Le débit de gaz W_G est donné par :

$$W_G = Wx = \rho_G u_G \alpha A$$

De même, pour la phase liquide :

$$W_L = W(1 - x) = \rho_L u_L (1 - \alpha) A$$

Le rapport de glissement, K est défini comme le rapport de la vitesse du gaz à la vitesse du liquide. Elle est normalement supérieure à l'unité, ce qui signifie que u_G est généralement supérieure à u_L .

$$K = \frac{u_G}{u_L} = \left(\frac{x}{1-x} \right) \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \frac{\rho_L}{\rho_G}$$

La fraction de vide peut être déterminée comme suit :

$$\alpha = \frac{1}{\left\{ 1 + K \left(\frac{x}{1-x} \right) \frac{\rho_L}{\rho_G} \right\}}$$

Supposons qu'il n'y ait pas de glissement entre les phases, $K = 1$, l'équation devient :

$$\alpha = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{x}{1-x} \right) \frac{\rho_L}{\rho_G} \right\}}$$

Maintenant, la qualité volumétrique β est le débit volumétrique du gaz divisé par le débit volumétrique total, c'est-à-dire :

$$\beta = \frac{Q_G}{Q_G + Q_L}$$

D'où Q_G et Q_L sont respectivement les débits volumétriques de gaz et de liquide avec :

$$Q_G = \frac{xW}{\rho_G} \quad \text{et} \quad Q_L = \frac{(1-x)W}{\rho_L}$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

On remplace dans l'équation précédente :

$$\beta = \frac{1}{\left\{1 + \left(\frac{x}{1-x}\right) \frac{\rho_L}{\rho_G}\right\}}$$

Par conséquent,

$$\alpha = \beta \text{ si } K = 1$$

Comme on peut s'attendre à ce qu'il n'y ait pas de glissement lorsque les deux phases s'écoulent sous forme de mélange homogène, on parle souvent de « l'écoulement homogène ».

II.2.4. Modèles d'écoulement diphasique de dérive :

Les modèles d'écoulement de dérive ont été utilisés dans les codes d'analyse thermo-hydraulique des industries nucléaires et autres pour analyser le comportement des systèmes dans une grande variété de conditions transitoires. Les modèles d'écoulement de dérive sont basés sur des corrélations pour calculer la distribution de fraction de vide et le glissement dans l'écoulement diphasique et il est nécessaire d'obtenir la vitesse relative entre les phases. En général, la plupart des corrélations des modèles de vitesse dérivant sont basées sur les travaux de Zuber et Findlay (1965) [7].

Dans le modèle de la vitesse de dérive, la fraction de vide α est une fonction de la vitesse totale et des vitesses superficielles du gaz, j et j_G , un paramètre de distribution de phase C_0 et une vitesse de dérive v_{gj} .

$$\alpha = \frac{j_G}{C_0 j + v_{gj}}$$

Les vitesses superficielles du gaz et du liquide peuvent être définies comme le débit volumétrique de chaque phase divisée par la section transversale du canal.

Pour la vitesse superficielle du gaz j_G :

$$j_G = \frac{Q_G}{A}$$

Pour la vitesse superficielle du liquide j_L :

$$j_L = \frac{Q_L}{A}$$

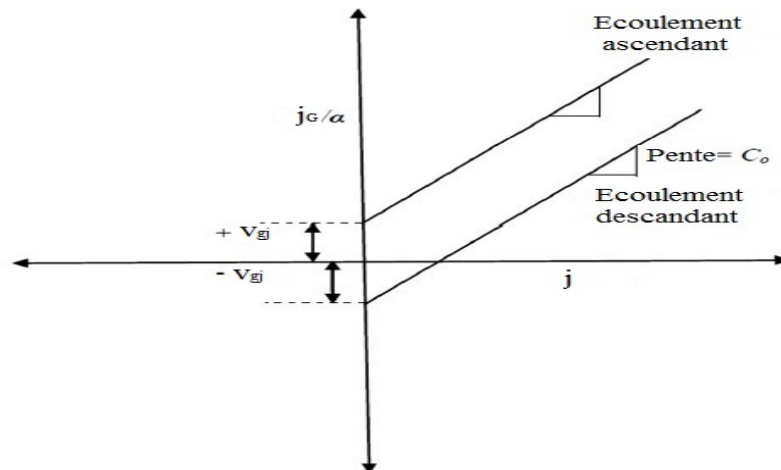


Figure 2.12 : Représentation graphique du modèle de vitesse de dérive [6].

II.2.5. Les corrélations les plus utilisées [5] :

Nous rapportons et rassemblons dans le même tableau, les corrélations les plus utilisées pour le calcul de la fraction de vide :

Nom	Corrélation
Armand et Massena	$\alpha = (0.833 + 0.167x) \frac{U_{sg}}{U_{sg} + U_{sl}}$
Bonnecaze et al.	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{sl}) + U_{gu}}$ <p style="text-align: center;">ou $C_0 = 1.2$</p> $U_{gu} = 0.35\sqrt{gD}(1 - \rho_g/\rho_l)$
Chisholm	$\alpha = \left[1 + \sqrt{1 - x(1 - \rho_l/\rho_g) \frac{1 - x \rho_g}{x \rho_l}} \right]^{-1}$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Dix	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{sl}) + U_{gu}}$ $C_0 = \frac{U_{sg}}{(U_{sg} + U_{sl})} \left[1 + \left(\frac{U_{sl}}{U_{sg}} \right)^b \right]$ <p style="text-align: center;">ou $b = (\rho_g/\rho_l)^{0.1}$</p> $U_{gu} = 2.9 \left(g\sigma \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l^2} \right)^{0.25}$
El-Boher et al.	$\alpha = \left[1 + 0.27 \left(\frac{x\rho_l}{1 - x\rho_g} \right)^{-0.6} (Fr_d) \right]$
Guzhov et al.	$\alpha = 0.81 \frac{U_{sg}}{U_{sg} + U_{sl}} \left(1 - e^{-2.2\sqrt{Fr}} \right)$ <p style="text-align: center;">ou $Fr = \frac{(U_{sg} + U_{sl})^2}{gD}$</p>
Ishii	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{gl}) + U_{gu}}$ <p style="text-align: center;">$C_0 = \min(C_{01}, C_{02})$</p> <p style="text-align: center;">$U_{gu} = \min(U_{gu1}, U_{gu2})$</p>
Kokal et Stanislav	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{gl}) + U_{gu}}$ <p style="text-align: center;">ou $C_0 = 1.2$</p> $U_{gu} = 0.345 \left[gD \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \right]^{0.5}$
Morooka et al.	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{sl}) + U_{gu}}$ <p style="text-align: center;">ou $C_0 = 1.08, U_{gu} = 0.45$</p>

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Nicklin et al.	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{gl}) + U_{gu}}$ <p>ou $C_0 = 1.2$</p> $U_{gu} = \sqrt{gD}$
Woldesemayat et Ghajar	$\alpha = V_{sg} \left[\left(1 + \left(\frac{V_{sl}}{V_{sg}} \right)^{\left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,1}} \right) + 2,9 \left(\frac{gD\sigma(1 - \cos\theta)(\rho_l - \rho_g)^{0,25}}{\rho_l^2} \right) + 1,22 \sin\theta \right]^{-1} \left(\frac{P_{atm}}{P_{sys}} \right)^{-1} \quad (1,22)$
Rouhani et Axelsson	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{gl}) + U_{gu}}$ $C_0 = 1 + 1.2(1 - x)(gD\rho_l^2/G^2)^{0.25}$ $C_0 = 1 + 1.2(1 - x)$ $U_{gu} = 1.18 \left(g\sigma \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l^2} \right)^{0.25}$
Sun et al.	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{gl}) + U_{gu}}$ $C_0 = [0.82 + 0.18(p_{sys}/p_{cr})]^{-1}$
Gomez et al.	$\alpha = \frac{U_{sg}}{C_0(U_{sg} + U_{gl}) + U_{gu}}$ <p>ou $C_0 = 1.15$</p> $U_{gu} = 1.53 \left(g\sigma \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l^2} \right)^{0.25} (1 - \alpha)^{0.5} \sin\theta$

Yamazaki et Yamaguchi	$\frac{\alpha}{(1-\alpha)(1-K\alpha)} = \frac{\alpha_h}{1-\alpha_h}$ $\text{ou } \alpha_h = \frac{U_{sg}}{(U_{sg} + U_{sl})}$ $K = 2.0 - 0.4/\alpha_h \quad \alpha_h \leq 0.2$ $K = -0.25 + 1.25/\alpha_h \quad \alpha_h \geq 0.2$
-----------------------	--

II.2.6. Evaluation des corrélations de la fraction de vide :

II.2.6.1. Performance des corrélations pour $0 < \alpha < 0,25$:

En raison des valeurs plus faibles de la fraction de vide, le pourcentage d'erreur dans la prédiction des données mesurées devrait être plus important que dans le cas des valeurs de fraction de vide plus élevées.

Le pourcentage d'erreur élevée résultant des corrélations dans cette région est en partie le résultat de l'augmentation rapide de la fraction de vide à faible vitesse superficielle du gaz. L'augmentation rapide de la fraction de vide rend difficile la corrélation exacte de la fraction de vide dans cette région. En raison le pourcentage d'erreur relativement plus élevée dans la prévision des données expérimentales dans cette faible fourchette de $0 < \alpha < 0,25$, on a utilisé des bandes d'erreur plus grandes.

Pour l'écoulement vertical ascendant, de l'ensemble de la base de données ont été classés dans la plage de fraction de vide de $0 < \alpha < 0,25$.

Les corrélations de Nicklin et al, et de Rouhani et Axelsson comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la plage $0 < \alpha < 0,25$.

Pour l'écoulement vertical descendant, les corrélations de Bonnacaze et al, Gomez et al, et Nicklin et al.

Comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la gamme $0 < \alpha < 0,25$.

II.2.6.2. Performance des corrélations pour $0,25 < \alpha < 0,5$:

Pour l'écoulement vertical ascendant, les corrélations de Bonnacaze et al, Kokal et Stanislav et Nicklin et al, comptent parmi les trois meilleures.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Pour l'écoulement vertical descendant, les corrélations de Bonnacaze et al, Nicklin et al, et Rouhani et Axelsson comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la fourchette de $0,25 < \alpha < 0,5$.

II.2.6.3. Performance des corrélations pour $0,5 < \alpha < 0,75$:

Pour l'écoulement vertical ascendant, les corrélations de Bonnacaze et al, Kokal et Stanislav et Nicklin et al, comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la fourchette de $0,5 < \alpha < 0,75$.

Pour l'écoulement vertical descendant, les corrélations de Nicklin et al, Rouhani et Axelsson, et Woldesemayat et Ghajar comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la fourchette de $0,5 < \alpha < 0,75$. La corrélation de Woldesemayat et Ghajar est la meilleure corrélation dans la plage de fraction de vide de $0,5 < \alpha < 0,75$.

II.2.6.4. Performance des corrélations pour $0,75 < \alpha < 1$:

Pour l'écoulement vertical ascendant, les corrélations d'Armand–Massena, Dix, Rouhani et Axelsson comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la fourchette de $0,75 < \alpha < 1$.

Pour l'écoulement vertical descendant, les corrélations de Gomez et al, Rouhani et Axelsson, et Woldesemayat et Ghajar comptent parmi les trois meilleures corrélations dans la fourchette de $0,75 < \alpha < 1$ [5].

II.3. Cartes du régime d'écoulement :

Introduction :

Les transitions entre différents schémas d'écoulements ne se produisent pas toujours comme prévu par les cartes d'écoulements ci-dessus. Souvent les transitions sont progressives et parfois quelques points expérimentaux se trouvent du mauvais côté des lignes de transition. Les lignes doivent donc être considérées comme des bandes ou des zones de largeur indéterminée (Azzopardi, 2003).

Habituellement, pour les tuyaux de petit diamètre, la fraction vide du gaz se situe entre 25 et 30 %. Lorsque la transition de la bulle à l'écoulement à bouchon se produit. Les bulles se combinent pour former la grande bulle de Taylor, et comme le débit de gaz est augmenté, le modèle change de bulle, à bouchon, à bascule, à annulaire et enfin à l'écoulement vaporeux-annulaire. Les transitions ci-dessous sont résumées par Azzopardi (2003, 2006). Ces résultats concernent principalement les tuyaux de petit diamètre.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

II. 3.1. La carte de Hewitt et Roberts :

II.3.1.1. Description de la carte :

La carte de Hewitt et Roberts (Hewitt et Roberts, 1969) est raisonnablement bonne pour tous les systèmes eau/air et eau/vapeur sur une gamme de pressions dans des tuyaux de petit diamètre. La carte originale a été créée avec des unités britanniques, comme nous pouvons le voir dans la figure 3, mais plusieurs auteurs ont changé les unités (par exemple Whalley, 1987) [4].

Il faut noter que certains auteurs, signalent une erreur dans la précision du calcul des coordonnées dans l'article original (Hewitt et Roberts, 1969). Elle entraîne des incertitudes près des limites du régime.

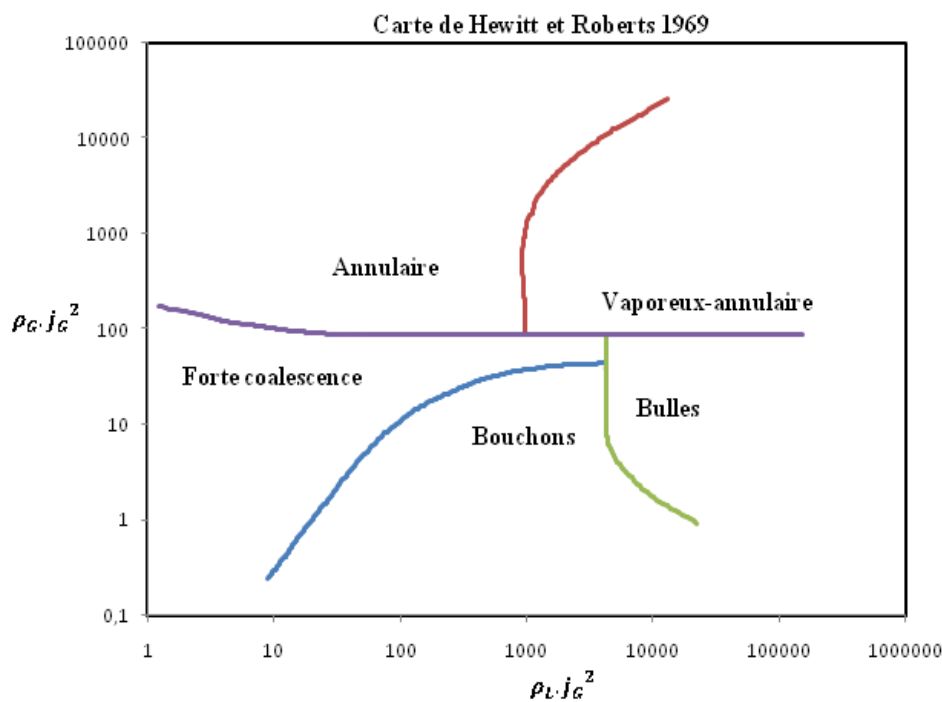


Figure 2.13 : Carte du schéma d'écoulement pour l'écoulement vertical (Hewitt et Roberts 1969) [4].

II.3.1.2 Propriétés de l'expérience :

*Propriétés de la conduite

-Longueur : 0,3 m

-Diamètre : 31,75 mm

*La gamme des pressions dans la zone de mélange

- Pression absolue : $14,27 \cdot 10^4 \text{ pa} - 54,26 \cdot 10^4 \text{ pa}$.

-Pression relative ($P_0 - P_{atm}$) : $4,14 \cdot 10^4 \text{ pa} - 44,13 \cdot 10^4 \text{ pa}$.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

*Range de températures :

- Température du gaz : 18,9 °C – 25,3 °C.

- Température du liquide : 20,8 °C – 32,5 °C.

*La gamme des débits :

- Gaz : 1,36 kg/h – 544,3 kg/h.

- Liquide : 226,8 kg/h – 8164,7 kg/h.

*Propriétés des fluides (consistent essentiellement des systèmes eau/air ou eau/vapeur) :

-La masse volumique du gaz : 1,68 kg/m³ – 6,4 kg/m³.

-La masse volumique du liquide : 992,2 kg/m³ – 997,8 kg/m³.

II. 3.2 La carte d'Oshinowo-Charles :

II.3.2.1 Description de la carte :

Oshinowo-Charles (Oshinowo et Charles, 1974) a suggéré par l'expérience que les schémas d'écoulement dépendent du débit volumétrique et de la vitesse de gaz et d'autres propriétés dynamiques de fluide similaires aux autres cartes [9].

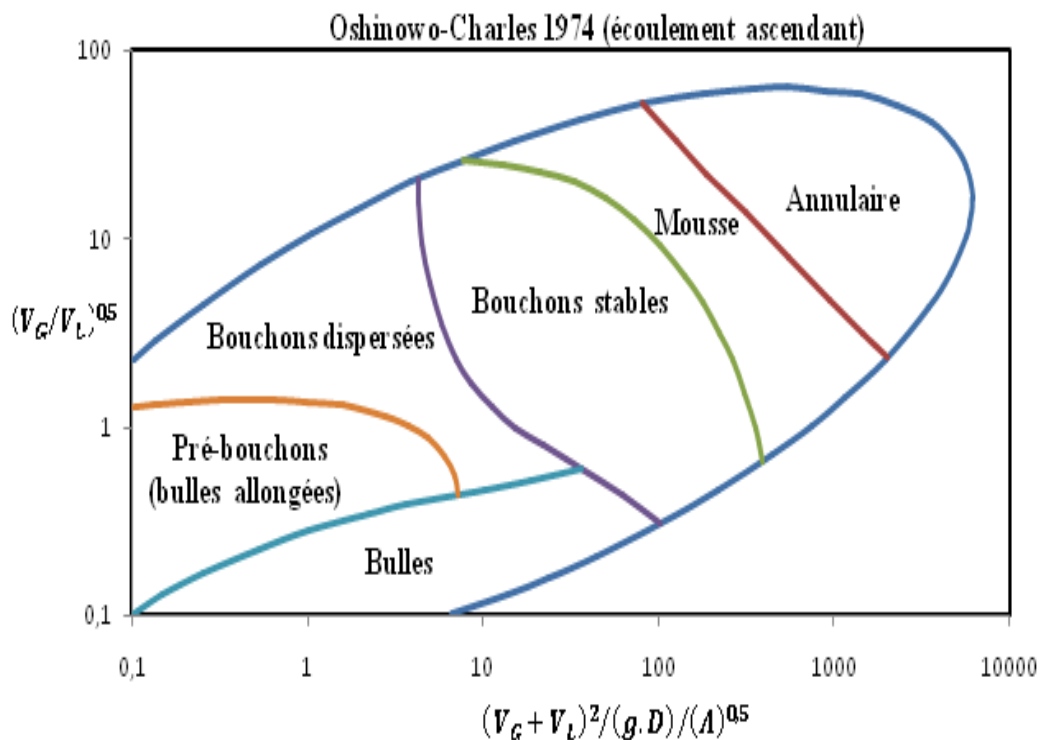


Figure 2.14 : Carte d'Oshinowo-Charles pour l'écoulement vertical ascendant [9].

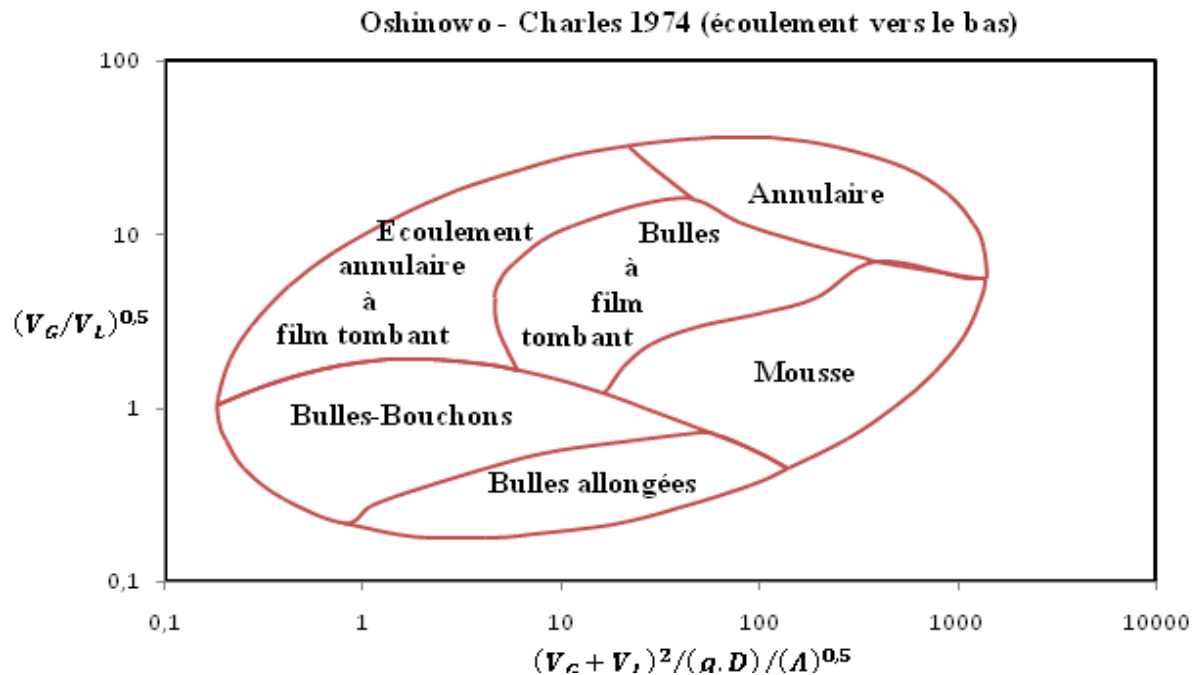


Figure 2.15 : Carte d'Oshinowo-Charles 1974 pour l'écoulement vertical descendant [9].

II. 3.2.2 Propriétés de l'expérience :

Ce sont les conditions dans lesquelles l'expérience a été faite, mais les auteurs ont testé la carte d'écoulement ascendant également avec d'autres données (d'autres auteurs), donc nous pourrions peut-être supposer que la carte est également valable pour les conditions suivantes (Oshinowo et Charles, 1974)

*Propriétés de la conduite :

-Longueur : 5,273 m

-Diamètre : 2,54 cm

*Pression : 0,71 bar

*Plage de débit volumétrique pour le gaz : 0 - $6,7 \cdot 10^5 \text{kg/m}^3\text{h}$

*Plage de débit volumétrique pour les liquides : $1,35 \cdot 10^5 - 2,4 \cdot 10^7 \text{kg/m}^3\text{h}$.

*Gamme de débit de gaz : 1 - 104 kg/h

*Plage de débit de liquide : 19 - 3540 kg/h

*La gamme de densité du liquide : 1000 - 1250 kg/m^3

*Plage de viscosité des liquides (solutions eau-glycérine) : $1 \cdot 10^{-3} - 12 \cdot 10^{-3} \text{kg/m s}$.

*Tension superficielle : $68 \cdot 10^{-3} - 73 \cdot 10^{-3} \text{kg/s}^2$

*Plage de température : 10 - 27 °C

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

II.3.3. Carte de Digitized Shell's DEP 31.22.05.11 :

II.3.3.1. Description de la carte :

Cette carte a été créée par la société Shell (Shell company, 2007), pour le transport (charge et décharge) de combustibles. Les cartes d'écoulement sont généralisées en utilisant comme paramètres le nombre de Froude du gaz et du liquide respectivement, en fonction de la vitesse et du diamètre de la conduit [9].

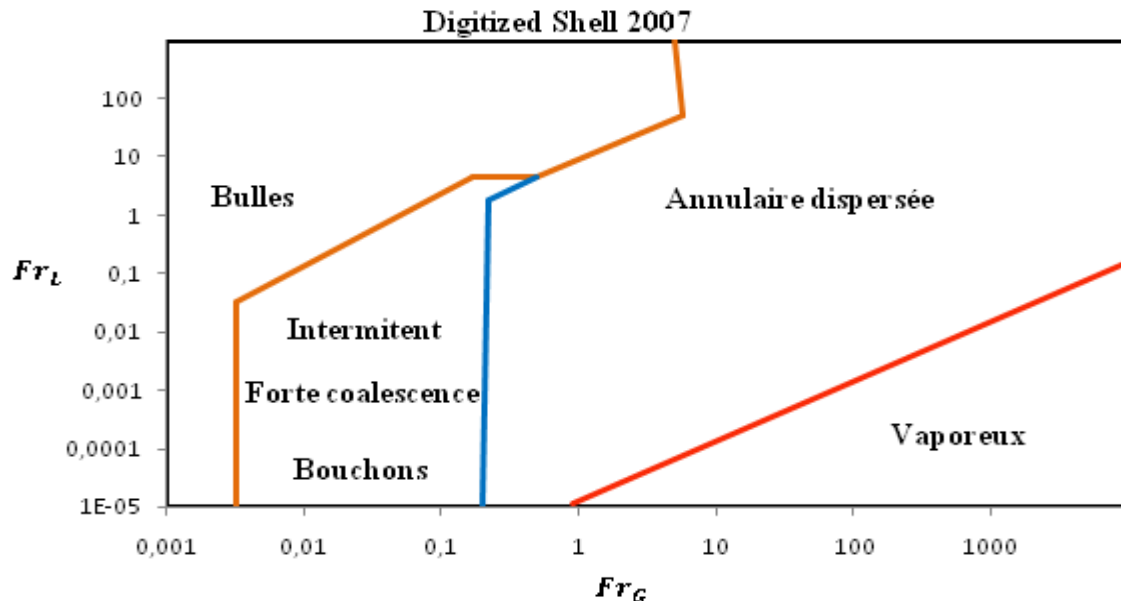


Figure 2.16 : Carte de Shell pour les tubes verticaux (Shell company, 2007) [9].

III. 3.3.2. Propriétés de l'expérience. Limites de la carte :

*Propriétés des substances :

- Densité du gaz : 8 kg/m^3
- Densité du liquide : 860 kg/m^3
- Viscosité du gaz : $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$
- Viscosité des liquides : $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Pa s}$
- Tension superficielle : $0,03 \text{ N/m}$

*Propriétés de la conduite :

- Diamètre : 500 mm

Comme les cartes sont dans ces coordonnées et que les conditions sont les caractéristiques fixes données ci-dessus, elles font varier les vitesses et on peut supposer qu'elles font varier les vitesses ou/et les pressions.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Quoi qu'il en soit, avec les conditions, nous avons :

$$F_{rG} = V_G \cdot (0.044 \text{ s/m}); F_{rL} = V_L \cdot (0.454 \text{ s/m})$$

Nous pouvons voir sur les figures que les nombres de Froude varient de 10^{-5} à 10^2 dans le cas de F_{rL} et de 10^{-3} à 10^2 dans le cas F_{rG} . Ainsi, les vitesses varient comme :

$$V_L: 2,2 \cdot 10^{-5} - 220,3 \text{ m/s}$$

$$V_G: 0,023 - 2,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

* De la même manière, puisque les vitesses dépendent du débit, elles semblent faire varier les débits comme :

$$Q_L: 4,3 \cdot 10^{-6} - 43,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_G: 4,5 \cdot 10^{-3} - 450,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Ils ne définissent aucune pression dans le tout présente la carte, mais on peut lire dans leurs manuels qu'ils travaillent dans des pressions inférieures à 90 bars ($P < 9 \cdot 10^6 \text{ Pa}$).

II. 3.4 La carte de Golan et Stenning :

II.3.4.1 Description de la carte :

Golan et Stenning (Golan et Stenning, 1969) ont constaté qu'il y avait certaines contradictions entre les cartes des écoulements verticaux créées avant la leur et ils ont également vu que la carte de Griffith et Wallis ne fonctionnait pas si bien. Pour ces raisons, ils ont créé leur propre carte verticale, à la fois pour l'écoulement ascendant et l'écoulement descendant. Les caractéristiques des deux cartes sont les mêmes ; elles utilisent simplement les vitesses superficielles comme coordonnées [9].

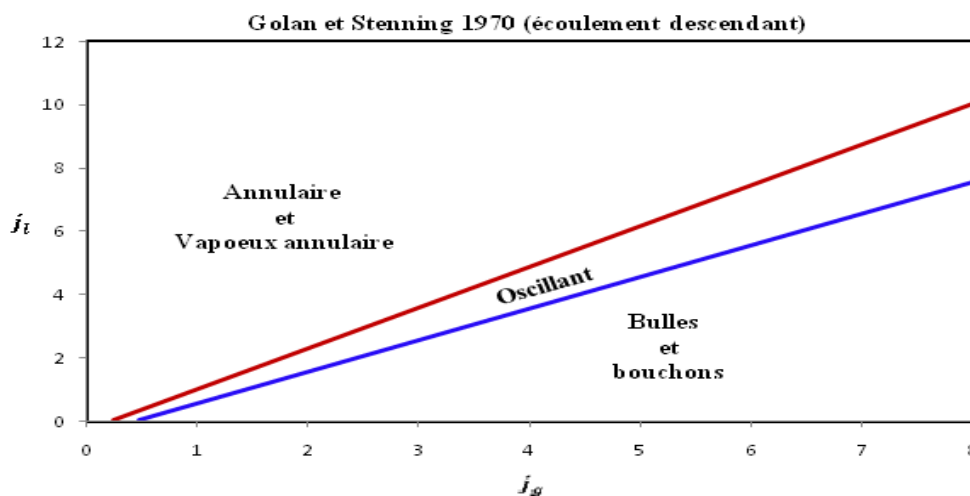


Figure 2.17 : Carte de Golan et Stenning pour l'écoulement descendant [9].

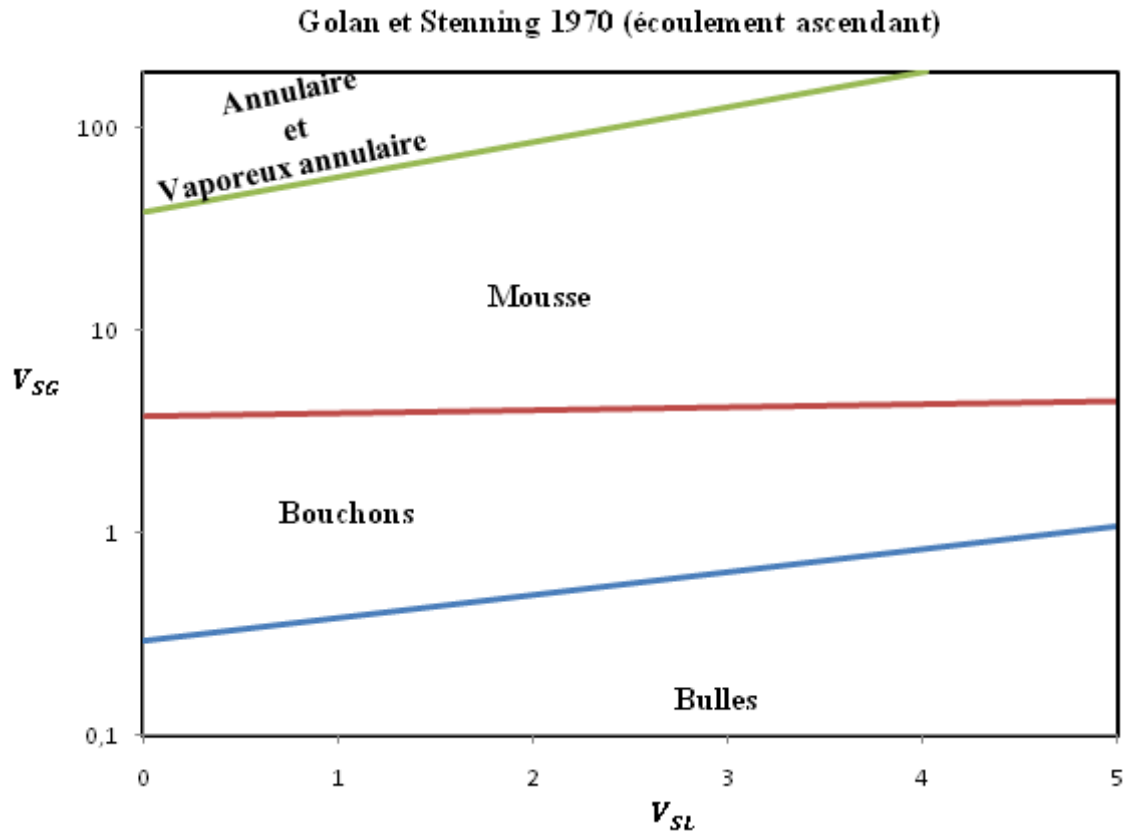


Figure 2.18 : Carte de Golan et Stenning pour l'écoulement ascendant [9].

II.3.4.2. Propriétés de l'expérience :

*Liquide utilisé : eau

*Gaz utilisé : air

*Propriétés de la conduite :

-Longueur : 3 m

-Diamètre : 3,81 cm

*Pression : 3,12 bar

*Gamme de débit de gaz : 10,77 - 3067,5 kg/h

*Plage de débit des liquides : 1000 - 10000 kg/h

*La gamme de densité des liquides : 1000 kg/m^3 (eau)

*La gamme de viscosité des liquides : 10^{-3} kg/m s

*Tension superficielle : $0,072 \text{ kg/s}^2$

*Plage de température : $21 \text{ }^\circ\text{C}$

II.3.5. Carte de Duns et Ros 1963 :

Duns et Ros (1963) ont fourni l'une des premières approches empiriques ; ils ont introduit des nombres sans dimension pour la vitesse du liquide, la vitesse du gaz, le diamètre de la conduite et la viscosité du liquide.

La corrélation de Duns et Ros reste le résultat d'une étude approfondie en laboratoire au cours de laquelle la rétention de liquide et les gradients de pression ont été mesurés [10].

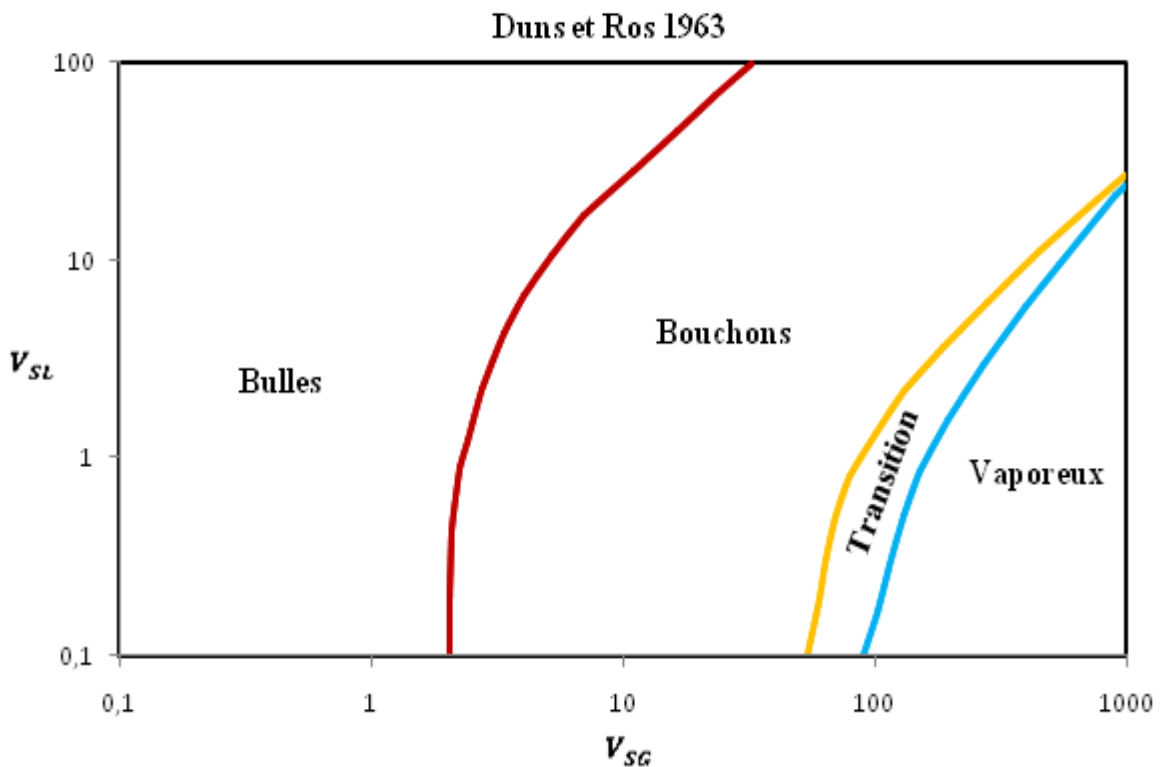


Figure 2.19 : Carte du Duns et Ros 1963[10].

Des corrélations ont été développées pour la vitesse de glissement (à partir de laquelle la rétention peut être calculée) et le facteur de friction pour chacun des trois régimes d'écoulements.

La vitesse du liquide :

$$N_{LV} = V_{SL} \left(\frac{\rho_L}{g\sigma_L} \right)^{0,25}$$

La vitesse du gaz :

$$N_{GV} = V_{SG} \left(\frac{\rho_L}{g\sigma_L} \right)^{0,25}$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Diamètre de la conduite :

$$N_d = d \left(\frac{\rho_L g}{\sigma_L} \right)^{0,5}$$

Viscosité du liquide :

$$N_L = \mu_L \left(\frac{g}{\rho_L \sigma_L^3} \right)^{0,25}$$

Les limites de transition du schéma d'écoulement sont définies comme des fonctions des groupes sans dimension N_{LV} et N_{GV} .

Pour ces limites de transition, Duns et Ros ont proposé les équations suivantes :

-La transition entre l'écoulement à Bulles et l'écoulement à bouchons :

$$N_{GV(\text{bulles/bouchons})} = L_1 + L_2 N_{LV}$$

Avec L_1 et L_2 sont des fonctions de N_d .

-La transition entre l'écoulement à bouchons et la zone de transition :

$$N_{GV(\text{bouchon /zonedetransition})} = 50 + 36 N_{LV}$$

-La transition entre la zone de transition et l'écoulement vapoureux :

$$N_{GV(\text{zonedetransition /vapoureux})} = 75 + 84 N_{LV}^{0,75}$$

Prévision du schéma d'écoulement :

-L'écoulement à Bulles existe si :

$$N_{GV} < N_{GV(\text{bulles/bouchons})}$$

-L'écoulement à bouchons existe si :

$$N_{GV(\text{bulles/bouchons})} < N_{GV} < N_{GV(\text{bouchon /zonedetransition})}$$

-L'écoulement vapoureux existe si :

$$N_{GV} < N_{GV(\text{zonedetransition /vapoureux})}$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

II.3.6. Carte de TAITEL, BORNEA et DUKLER 1980 :

Modèle unifié pour la prédiction des transitions du schéma d'écoulement pour toute la gamme d'inclinaisons des conduites

Il s'agit d'une carte théorique qui prédit les transitions dans un écoulement gaz-liquide stable pour n'importe quelle inclinaison du tuyau ; elle peut donc être utilisée pour un écoulement vertical (vers le haut et vers le bas) ainsi que pour un écoulement horizontal. La prédiction du modèle d'écoulement est faite à partir du débit, de la géométrie du tuyau (y compris le degré d'inclinaison) et des propriétés du fluide.

Le modèle de TAITEL, BORNEA et DUKLER comprend les mécanismes qui expliquent la base physique des transitions entre les modèles [10].

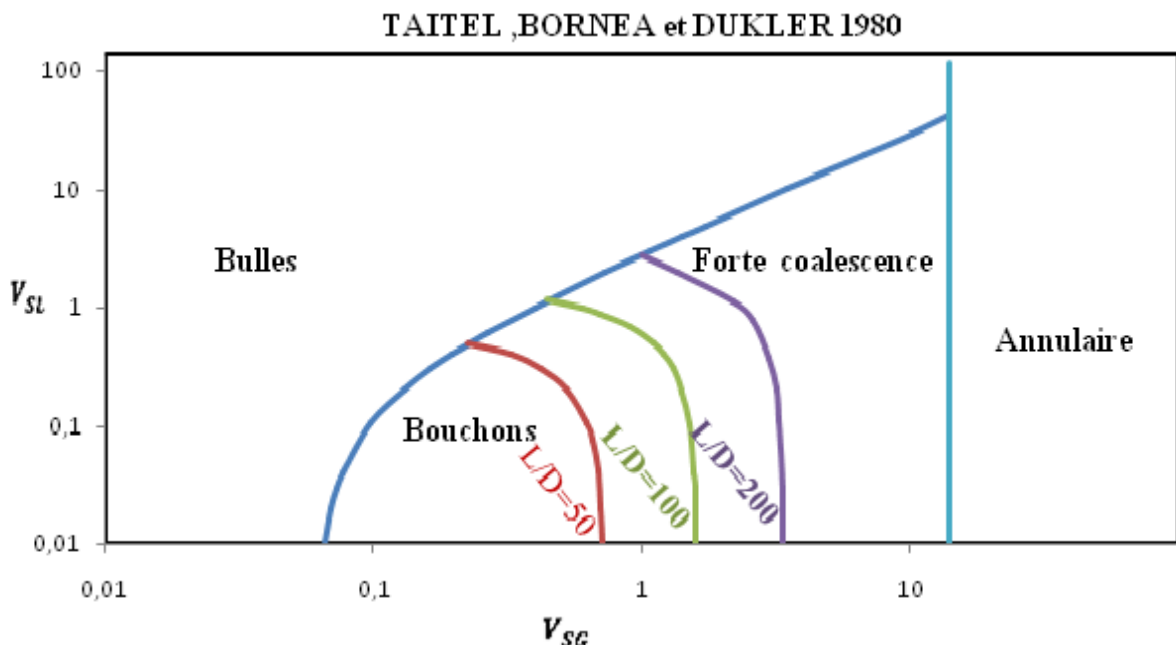


Figure 2.20 : Carte de TAITEL, BORNEA et DUKLER 1980[10].

Les limites de transition sont représentées par les équations suivantes :

-La transition entre l'écoulement à Bulles et l'écoulement à bouchons :

$$V_{SL} = 3V_{SG} - 2 \left(\frac{g(\rho_L - \rho_G)}{\sqrt{gd}} \right)^{0,25}$$

-La transition entre l'écoulement à bouchons et l'écoulement à forte coalescence :

$$\frac{l_\varepsilon}{d} = 40,6 \left(\frac{V_{SL} + V_{SG}}{\sqrt{gd}} + 0,22 \right)$$

-La transition entre l'écoulement à bouchons et l'écoulement à forte coalescence :

$$\frac{V_{SL}\rho_g^{0,5}}{(\sigma g(\rho_L - \rho_G))^{0,25}} = 3,1$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

II.3.7. Carte de GOVIER, AZIZ et FOGARASI, 1967 :

$$N_x = V_{sg} \left(\frac{\rho_g}{0,0764} \right)^{1/3} \left(\left(\frac{72}{\sigma_l} \right) \left(\frac{\rho_l}{62,4} \right) \right)^{0,25}$$

Et :

$$N_y = V_{sl} \left(\left(\frac{72}{\sigma_l} \right) \left(\frac{\rho_l}{62,4} \right) \right)^{0,25}$$

L'écoulement à bulles /bouchons :

$$N_1 = 0,51(100N_y)^{0,172}$$

Transition / bouchons :

$$N_2 = 8,6 + 3,8N_y$$

Transition/ vaporeux-annulaire :

$$N_3 = 70(100N_y)^{-0,152}$$

Où V_{sl} , V_{sg} en (ft/sec), ρ_l et ρ_g sont en (livres par pieds cubes), et σ_l est en (dynes par centimètre).

L'écoulement à bulles existe si :

$$N_x < N_1$$

L'écoulement à bouchon existe si :

$$N_1 < N_x < N_2 \text{ pour } N_y < 4$$

Ou si :

$$N_1 < N_x < 26,5 \text{ pour } N_y > 4$$

L'écoulement à vaporeux existe si :

$$N_x > N_3 \text{ pour } N_y \geq 4$$

$$N_x > 26,5 \text{ pour } N_y < 4$$

La région de transition existe lorsque :

$$N_1 < N_x < N_2 \text{ pour } N_y < 4$$

La région de transition n'existe pas pour : $N_y > 4$

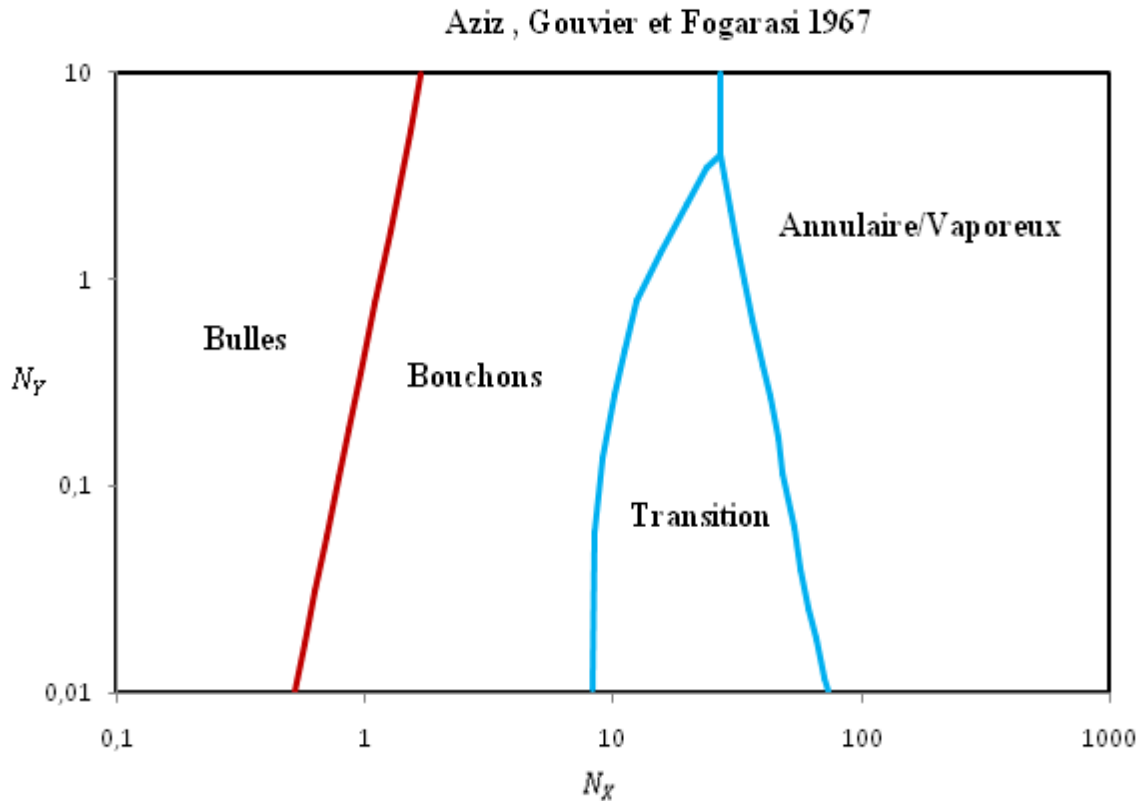


Figure 2.21 : Carte AZIZ, GOUVIER et FOGARASI 1967 [10].

II.3.8. Carte d'ANSARI (1994) :

(Ansari, Sylvester, Sarica, Shoham et Brill, 1994) sont deux des modèles mécanistes bien développés qui ont été largement appliqués à l'analyse de l'écoulement multiphasique basée sur le schéma d'écoulement.

-La transition entre l'écoulement à bulles et l'écoulement à bouchons :

Taitel a donné le diamètre minimum pour lequel l'écoulement des bulles se produit comme suit [10] :

$$d_{min} = 19,01 \left(\frac{\sigma_L(\rho_L - \rho_G)}{\rho_L^2 g} \right)^{0,5}$$

-La transition entre l'écoulement à bulles et l'écoulement à bulles dispersées :

$$V_{SG} = 0,03825 \left(\frac{g\sigma_L(\rho_L - \rho_G)}{\rho_L^2} \right)^{0,25} + 0,333V_{SL}$$

-La transition entre l'écoulement à bulles et l'écoulement à bouchons ou forte coalescence :

$$2 \left(\frac{0,4 \sigma_L}{(\rho_L - \rho_G)g} \right)^{0,5} \left(\frac{\rho_L}{\sigma_L} \right)^{0,6} \left(\frac{f}{2d} \right)^{0,4} (V_{SG} + V_{SL})^{1,2} = 0,725 \left(\frac{V_{SG}}{V_{SL} + V_{SG}} \right)^{0,5}$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

-La transition entre l'écoulement à bulles dispersées et l'écoulement à bouchons ou forte coalescence :

$$V_{SG} = 3,17V_{SL}$$

-La transition entre l'écoulement à bouchons ou forte coalescence et l'écoulement annulaire :

$$V_{SG} = 3,1 \left(\frac{g\sigma_L(\rho_L - \rho_G)}{\rho_G^2} \right)^{0,25}$$

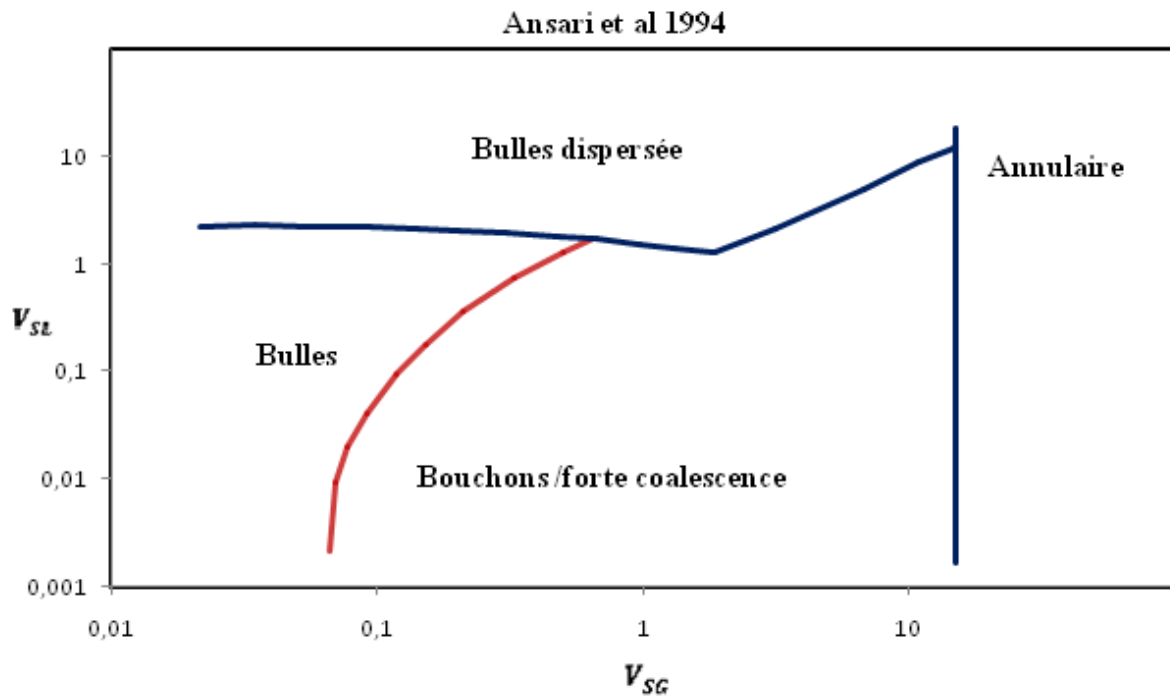


Figure 2.22 : Carte du ANSARI et al 1994[10].

II.3.9. Carte de HASAN et KABIR (1998) :

Ils ont présenté une équation pour le schéma d'écoulement, la fraction de vide et la chute de pression des écoulements de bulles, de bouchons, de barattes et annulaires dans les puits verticaux. Ils ont proposé une corrélation de vitesse de dérive pour la prédiction de la fraction de vide dans un écoulement à bulles.

Kabir et Hasan ne se sont pas étendus sur la performance de leurs modèles de fraction de vide spécifique à l'écoulement. Ils n'ont pas testé leur corrélation avec des données expérimentales de fraction de vide.

-La transition entre écoulement à bulles et écoulement à bouchons :

$$V_{SG} = \frac{\sin\theta}{4 - C_0} (C_0 V_{SL} + V_S)$$

$$C_0 = \begin{cases} 1,2 & \text{si } d < 0,12 \text{ m ou si } V_{SL} > 0,02 \text{ m/s} \\ 2,0 & \text{si } d > 0,12 \text{ m ou si } V_{SL} < 0,02 \text{ m/s} \end{cases}$$

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

-La transition entre écoulement à bouchons et écoulement à forte coalescence :

$$V_m^{1,12} = 4,68d^{0,48} \left(\frac{g(\rho_L - \rho_G)}{\sigma_L} \right)^{0,5} \left(\frac{\sigma_L}{\rho_L} \right)^{0,6} \left(\frac{\rho_L}{\mu_L} \right)^{0,08}$$

-La transition entre écoulement à forte coalescence et écoulement annulaire :

$$V_{SG} = 3,1 \left(\frac{g\sigma_L(\rho_L - \rho_S)}{\rho_G^2} \right)^{0,25}$$

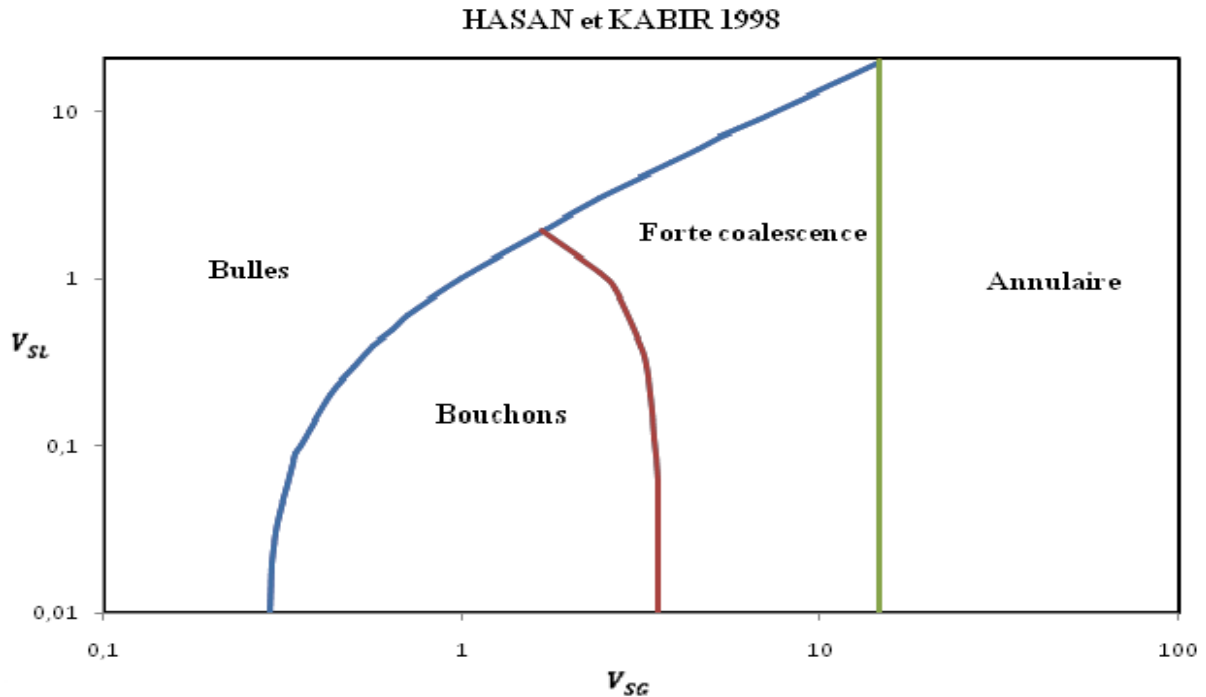


Figure 2.23 : Carte du HASAN et KABIR 1998.

II.3.10. Carte de Fair :

Fair (1960) a proposé la première carte de schéma d'écoulement largement citée pour l'écoulement vertical ascendant, illustrée à la figure 3. Elle sépare les écoulements en quatre régimes d'écoulement, sans un régime d'écoulement de barattage qui se situerait normalement entre les régions d'écoulement annulaire et à bouchons. L'axe vertical représente le débit massique total de liquide et de vapeur, tandis que l'axe des abscisses comprend un terme de qualité de la vapeur et les rapports des densités de phase et des viscosités dynamiques.

Cette carte a été proposée à l'origine en unités américaines ($Gen \text{ "lb. ft}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}"$) mais elle est donnée ici en unités SI qui sont maintenant plus couramment utilisées. Pour utiliser cette carte, on calcule d'abord la valeur de l'axe des x et le débit massique total ($Gen \text{ "kg. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}"$) pour les conditions particulières et ces valeurs sont ensuite utilisées pour déterminer si l'écoulement est de type bulles, bouchon, annulaire ou brouillard, les lignes sombres indiquant les seuils de transition entre les régimes.

Chapitre II : Techniques d'identification du régime d'écoulement.

Cette carte est donc dimensionnelle sur son axe vertical, mais sans dimension sur son axe horizontal.

Il faut considérer que les courbes de transition sur les cartes des schémas d'écoulement sont entourées d'une zone de transition, analogue à celle qui existe entre les écoulements laminaires et turbulents. Par exemple, dans les transitions entre l'écoulement de bulles et l'écoulement de boules, on voit des bulles allongées partiellement formées avec un sillage de bulles qui sont entrecoupées de régions d'écoulement de bulles et donc alternant les unes avec les autres[11].

Pour mettre en œuvre cette carte dans une simulation informatique, les expressions suivantes ont été extraites du graphique de Fair (1960) pour ses trois lignes de transition (Y pour l'axe vertical et X pour l'axe horizontal) :

-De l'écoulement à bulles à l'écoulement à bouchons :

$$Y = 80,6 X^{-1.492} \text{ dans l'intervall } 0.2 \leq X \leq 3 \text{ et } 15.6 \leq Y \leq 879 \quad (1)$$

-De l'écoulement à bouchons vers l'écoulement annulaire :

$$Y = 503 X^{-1.231} \text{ dans l'intervall } 0.5 \leq X \leq 18 \text{ et } 14.6 \leq Y \leq 1221 \quad (2)$$

De l'écoulement annulaire à l'écoulement vapoureux :

$$Y = 2988 X^{-1.044} \text{ dans l'intervall } 3 \leq X \leq 90 \text{ et } 28.3 \leq Y \leq 976 \quad (3)$$

Les deux axes sont les suivants :

$$X = \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.5}$$

$$Y = G(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$$

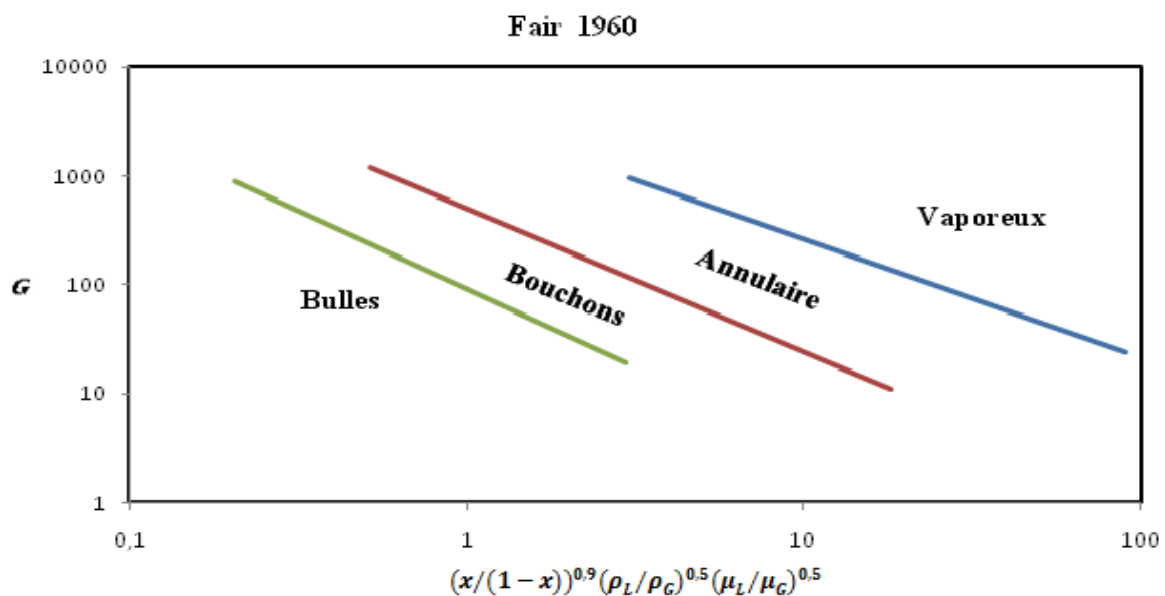


Figure 2.24 : Carte de FAIR (1960) [11].

CHAPITRE III

Implémentation et codage
des corrélations de fraction
de vide et des cartes de
configuration d'écoulement

Introduction :

À la fin des années 1950 sous l'impulsion de John Backus, il a été standardisé en 1972 sous la forme du fortran 66 et son efficacité dans le calcul scientifique en a fait le langage le plus utilisé dans les applications non commerciales. La mise à jour du standard à la fin des années 1970 a apporté d'énormes améliorations en particulier dans le traitement des chaînes de caractères avec le fortran 77.

Mais c'est avec fortran 90, dont la norme fut particulièrement longue à négocier, qu'est intervenue une véritable modernisation du langage fortran. Cette nouvelle version a permis un nettoyage des éléments les plus obsolètes du fortran (format fixe par exemple, lié à l'utilisation des cartes perforées). Elle a aussi introduit des fonctionnalités nouvelles parfois présentes dans des langages plus récents, parmi lesquelles nous ne soulignerons que les plus attendues dans notre domaine d'applications :

- Langage de programmation structuré.
- Outils de manipulation des tableaux (multidimensionnels) puissants, concis et adaptés au calcul vectoriel et parallèle.
- Gestion dynamique, pointeurs.
- Création de types dérivés (structures), surcharge d'opérateurs, ...
- Fiabilisation des passages d'arguments entre procédures.

Enfin, l'évolution du langage fortran a continué avec le fortran 95, qui constitue une révision mineure, mais surtout le fortran 2003, dont le standard a été publié en novembre 2004 ². Il apporte notamment :

- De nouvelles possibilités concernant les tableaux dynamiques et les types dérivés.
- Des fonctionnalités de programmation orientées objet, notamment l'extension des types dérivés et l'héritage, la notion de procédure attachée (bound) à un type.
- Une meilleure intégration dans le système d'exploitation.

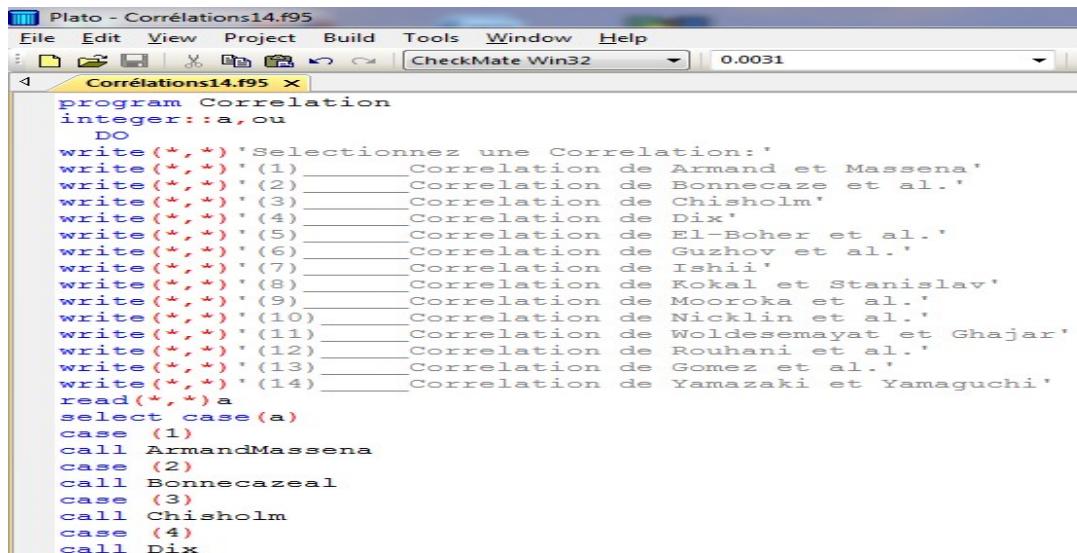
Une partie de ces fonctionnalités étaient déjà intégrées dans certains compilateurs fortran 95 sous forme d'extensions, mais la publication de la norme a accéléré leur intégration et garantit leur portabilité. Dans ce contexte, nous ne documenterons pas en général les aspects qualifiés d'obsolescents en fortran 90/95, donc destinés à disparaître des prochaines versions [8].

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

III.1.1. Codage des corrélations de la fraction de vide avec le langage FORTRAN :

Les corrélations de la fraction de vide qui sont présentés au chapitre 2 ont été codées avec le langage FORTRAN. Quatorze sous-programmes sont rédigés et testés et enfin assemblés dans un seul programme.

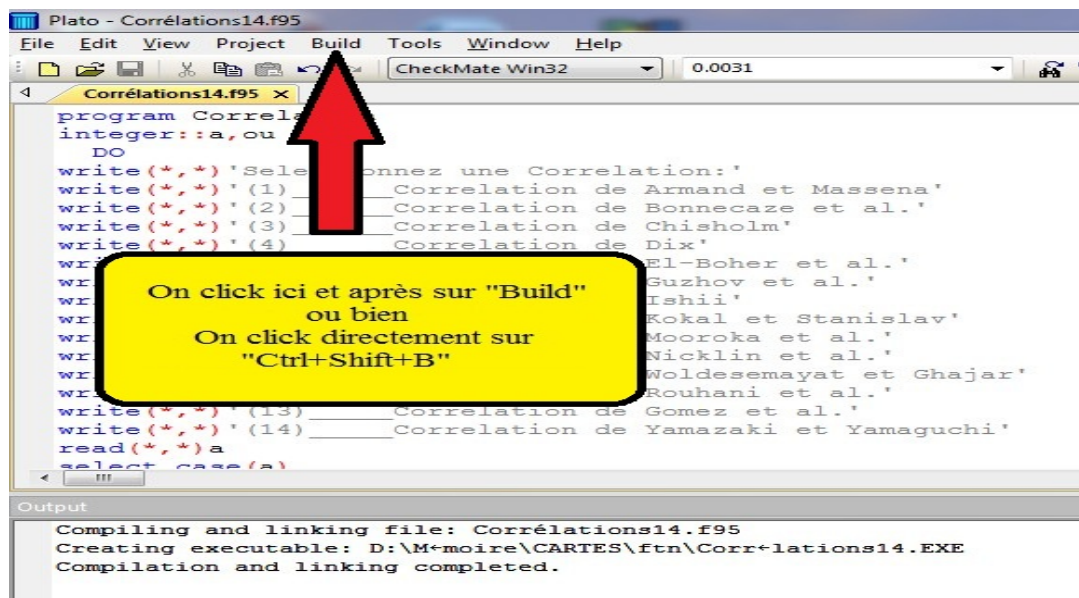
Premièrement, le codage des corrélations avec le langage FORTRAN95.



```
program Correlation
integer :: a,ou
DO
write(*,*) 'Selectionnez une Correlation: '
write(*,*) ' (1) _____ Correlation de Armand et Massena'
write(*,*) ' (2) _____ Correlation de Bonnacaze et al.'
write(*,*) ' (3) _____ Correlation de Chisholm'
write(*,*) ' (4) _____ Correlation de Dix'
write(*,*) ' (5) _____ Correlation de El-Boher et al.'
write(*,*) ' (6) _____ Correlation de Guzhov et al.'
write(*,*) ' (7) _____ Correlation de Ishii'
write(*,*) ' (8) _____ Correlation de Kokal et Stanislav'
write(*,*) ' (9) _____ Correlation de Mooroka et al.'
write(*,*) ' (10) _____ Correlation de Nicklin et al.'
write(*,*) ' (11) _____ Correlation de Woldesemayat et Ghajar'
write(*,*) ' (12) _____ Correlation de Rouhani et al.'
write(*,*) ' (13) _____ Correlation de Gomez et al.'
write(*,*) ' (14) _____ Correlation de Yamazaki et Yamaguchi'
read(*,*) a
select case (a)
case (1)
call ArmandMassena
case (2)
call Bonnacazeal
case (3)
call Chisholm
case (4)
call Dix
```

Figure 3.1 : Capture d'écran qui représente le codage des corrélations avec le langage FORTRAN95.

Deuxièmement, on va construire le programme.



On click ici et après sur "Build"
ou bien
On click directement sur
"Ctrl+Shift+B"

```
Compiling and linking file: Corrélations14.f95
Creating executable: D:\M-moire\CARTES\ftn\Corr+lations14.EXE
Compilation and linking completed.
```

Figure 3. 2 : Capture d'écran qui représente la construction de programme avec le langage FORTRAN95.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

Troisièmement, on va exécuter le programme.

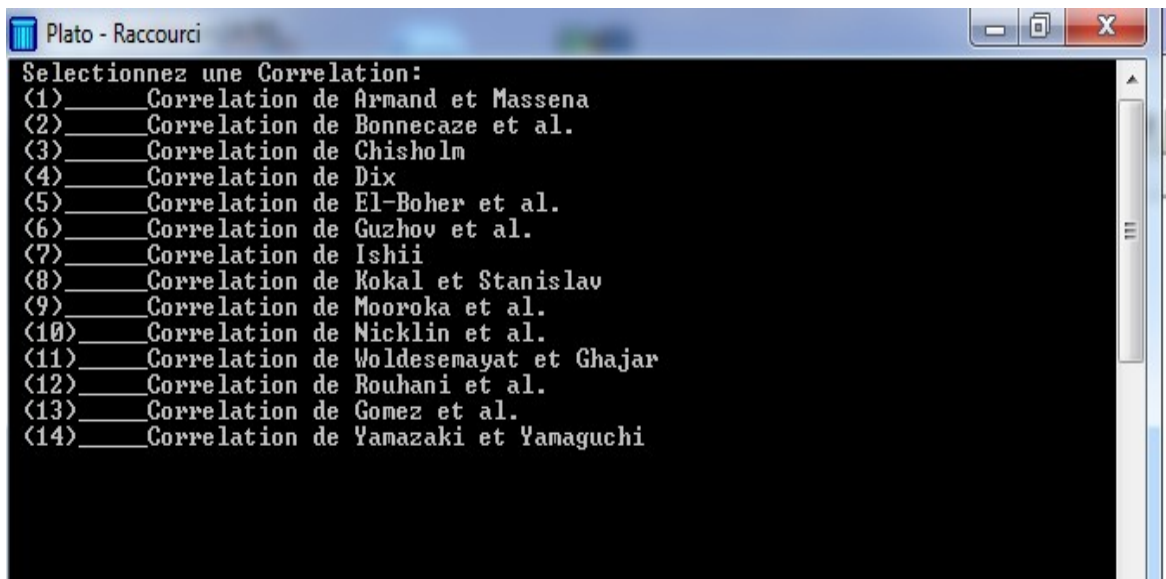


Figure 3. 3 : Capture d'écran qui représente le choix de corrélations.

On choisit une corrélation en entrant un numéro de 1 à 14 qui représente notre choix de corrélations.

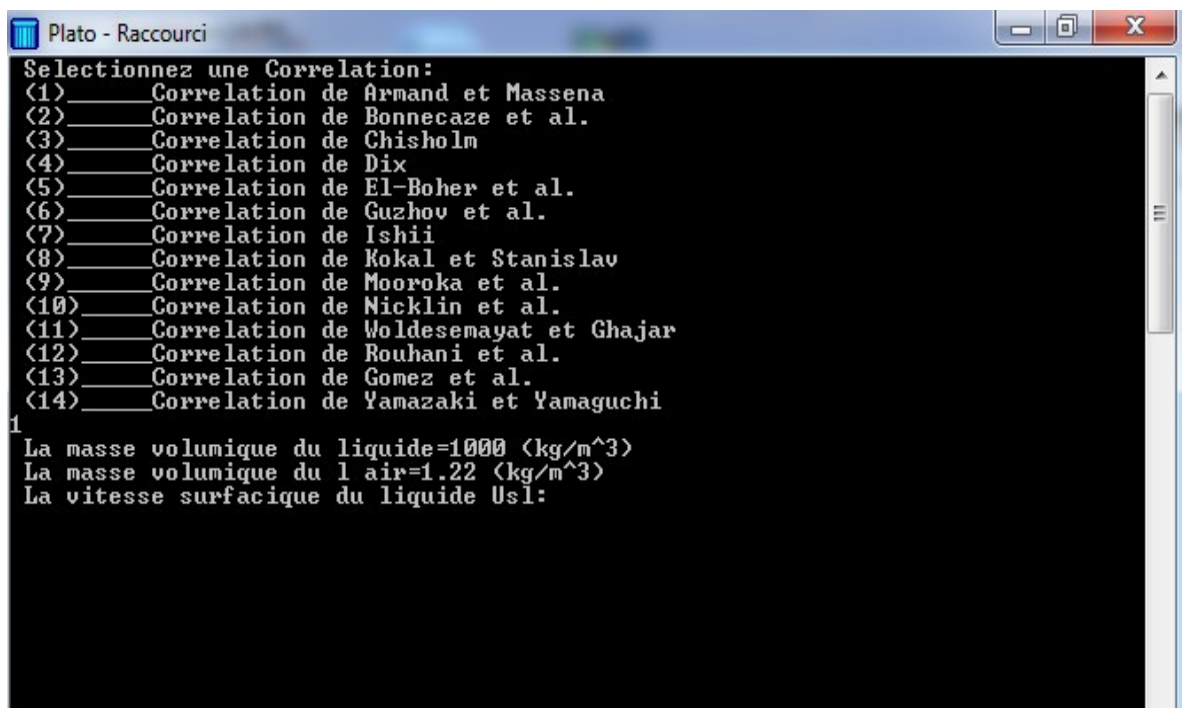
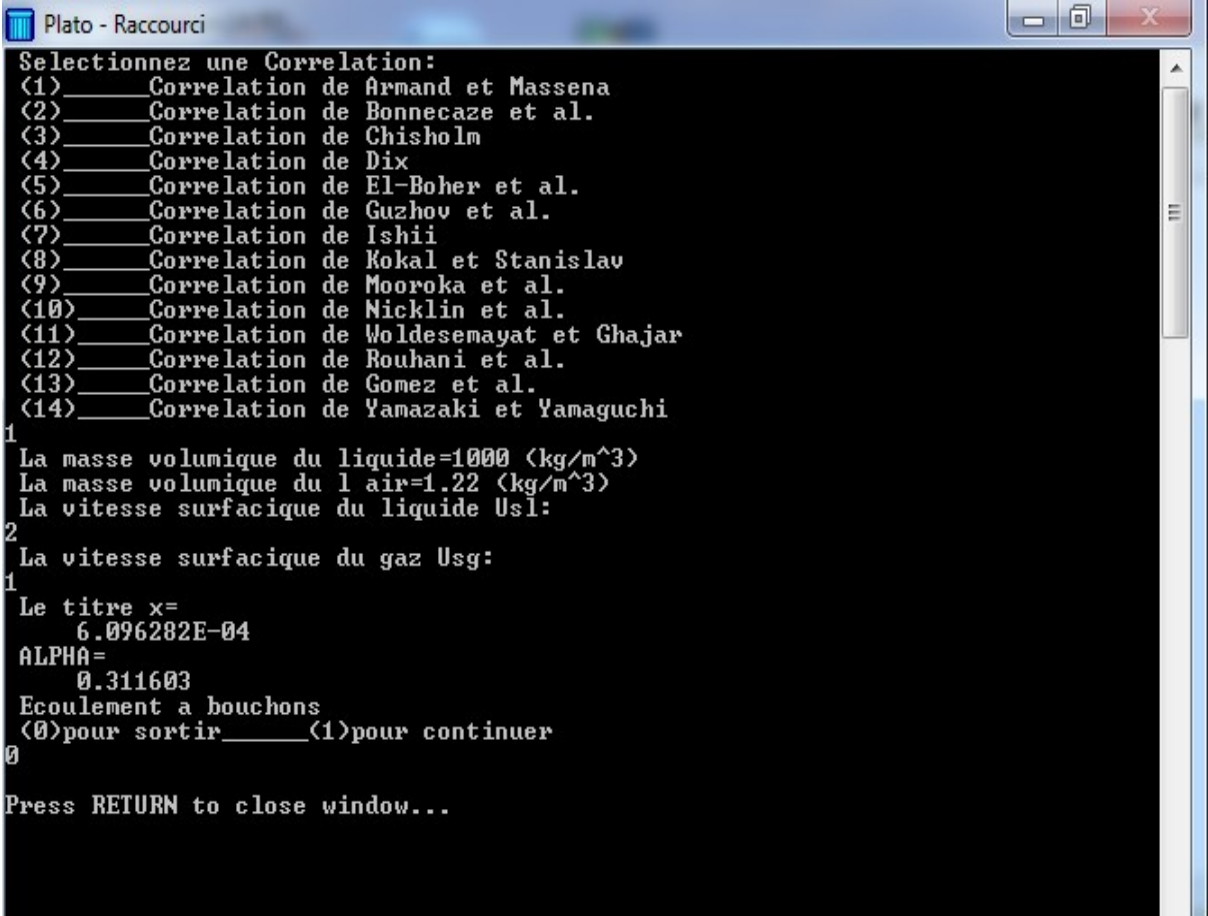


Figure 3. 4 : capture d'écran qui représente les paramètres de la corrélation choisie.

Les captures d'écrans présentées par les figures de 3.1 à 3.4 montrent le déroulement de l'exécution et les résultats obtenus.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

On va faire entrer les vitesses superficielles du programme élaboré et présenté à la figure 3.5.



```
Plato - Raccourci
Selectionnez une Correlation:
(1)_____ Correlation de Armand et Massena
(2)_____ Correlation de Bonnacaze et al.
(3)_____ Correlation de Chisholm
(4)_____ Correlation de Dix
(5)_____ Correlation de El-Boher et al.
(6)_____ Correlation de Guzhov et al.
(7)_____ Correlation de Ishii
(8)_____ Correlation de Kokal et Stanislav
(9)_____ Correlation de Mooroka et al.
(10)_____ Correlation de Nicklin et al.
(11)_____ Correlation de Woldesemayat et Ghajar
(12)_____ Correlation de Rouhani et al.
(13)_____ Correlation de Gomez et al.
(14)_____ Correlation de Yamazaki et Yamaguchi
1
La masse volumique du liquide=1000 (kg/m^3)
La masse volumique du l air=1.22 (kg/m^3)
La vitesse surfacique du liquide Usl:
2
La vitesse surfacique du gaz Usg:
1
Le titre x=
  6.096282E-04
ALPHA=
  0.311603
Ecoulement a bouchons
(0)pour sortir_____(1)pour continuer
0
Press RETURN to close window...
```

Figure 3.5 : Capture d'écran qui montre la valeur d'ALPHA (α) et la nature de l'écoulement.

Si on fait entrer « 1 » à la place de « 0 » notre programme va revenir au panier de choix de corrélations.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

III.1.2. Organigramme qui résume le programme des corrélations de fractions de vide :

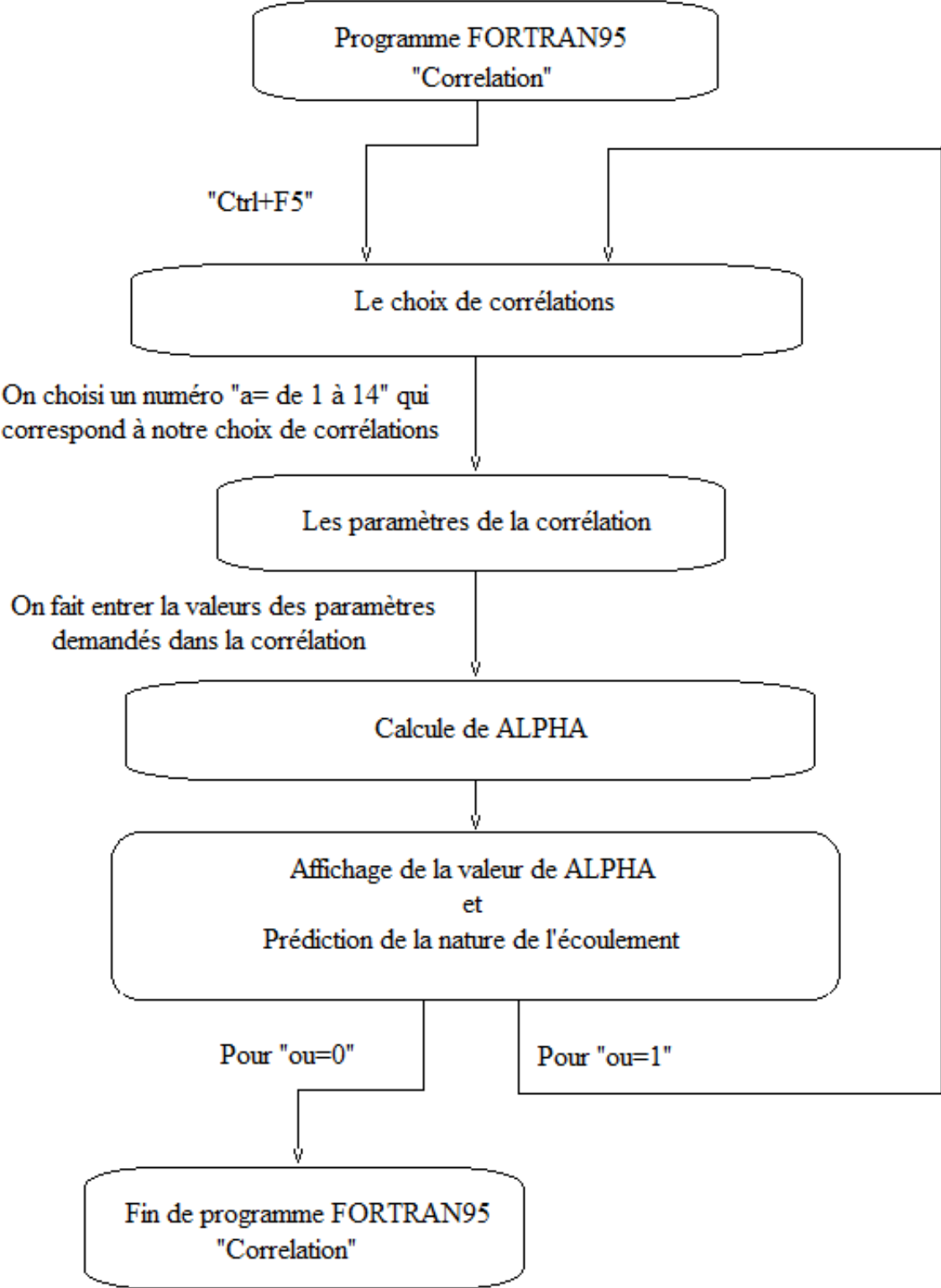


Figure 3.6 : Organigramme qui résume le programme des corrélations des fractions du vide.

III.2. Implémentation des cartes de configuration d'écoulements :

Les cartes de configuration d'écoulements présentées au chapitre 2 ont été numérisées à l'aide du logiciel ORIGINLAB.

Ce dernier est un outil informatique complet pour l'analyse de données et de mise en forme graphique fournissant tout un éventail de fonctionnalités (analyse de pics, ajustement de courbes, numérisation des graphiques photos, statistiques...) permettant de satisfaire aux exigences de qualité et aux besoins spécifiques de la communauté scientifique (chercheurs, ingénieurs, techniciens...). Origin existe sous deux versions, Origin Standard, offrant les fonctionnalités essentielles et Origin Pro pour une utilisation plus poussée.

OriginLab est l'un des principaux développeurs de logiciels de graphisme et d'analyse scientifiques depuis 1992.



Figure 3.7 : OriginLab.

III.2.1. Procédures de numérisation :

On fait une capture d'écran pour la carte soit avec l'outil de capture existant sur l'ordinateur ou bien on utilise un programme qui effectue ce genre de tâche comme dans notre cas on a utilisé le programme « pc-screen-capture».

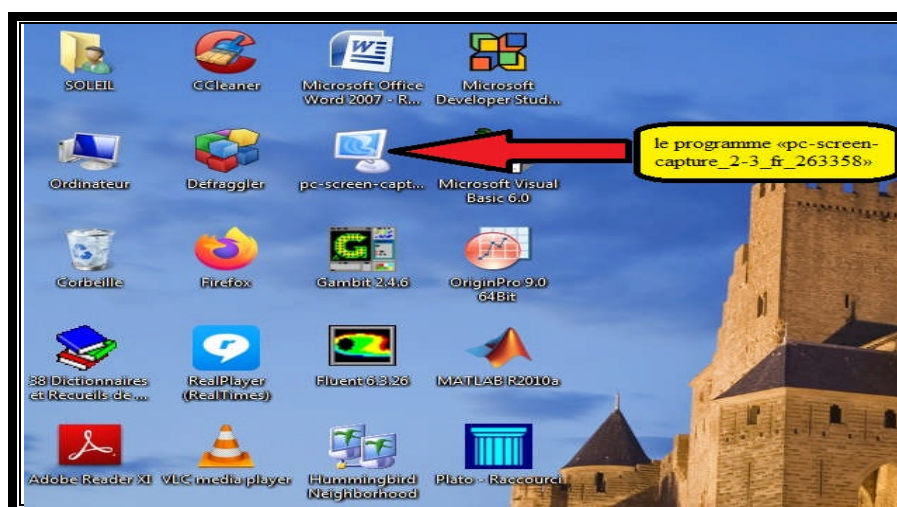


Figure 3.8 : Le programme « pc-screen-capture».

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

On va sur la source de la carte et on fait la capture.

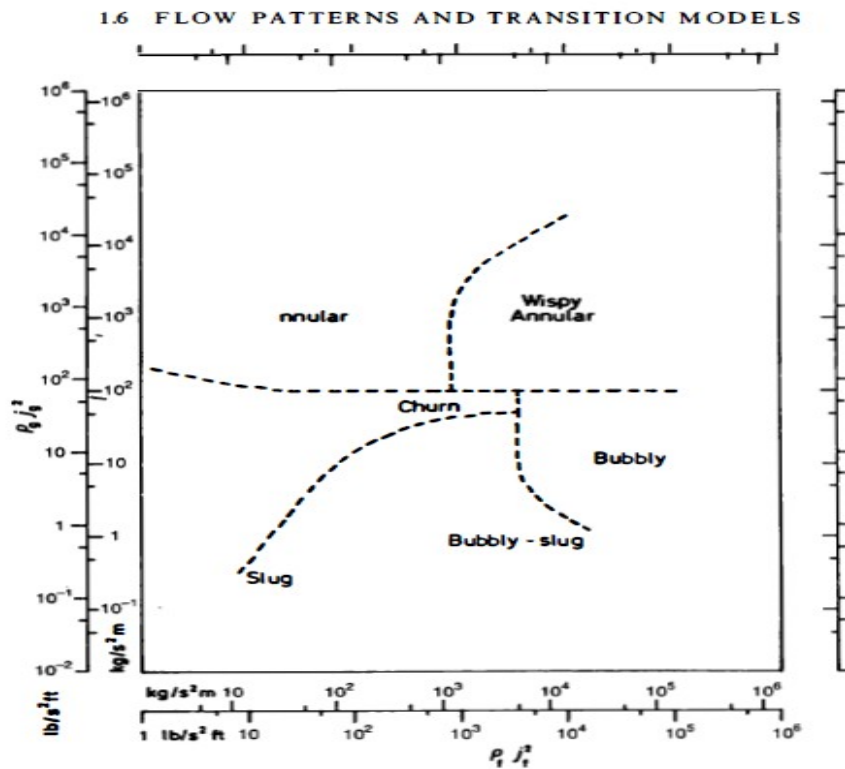


Fig. 15. Flow pattern map for vertical flow (Hewitt and Roberts 1969).

Figure 3.9 : Capture de la carte de Hewitt et Roberts 1969 pour l'écoulement vertical.

On importe la capture sur OriginPro.

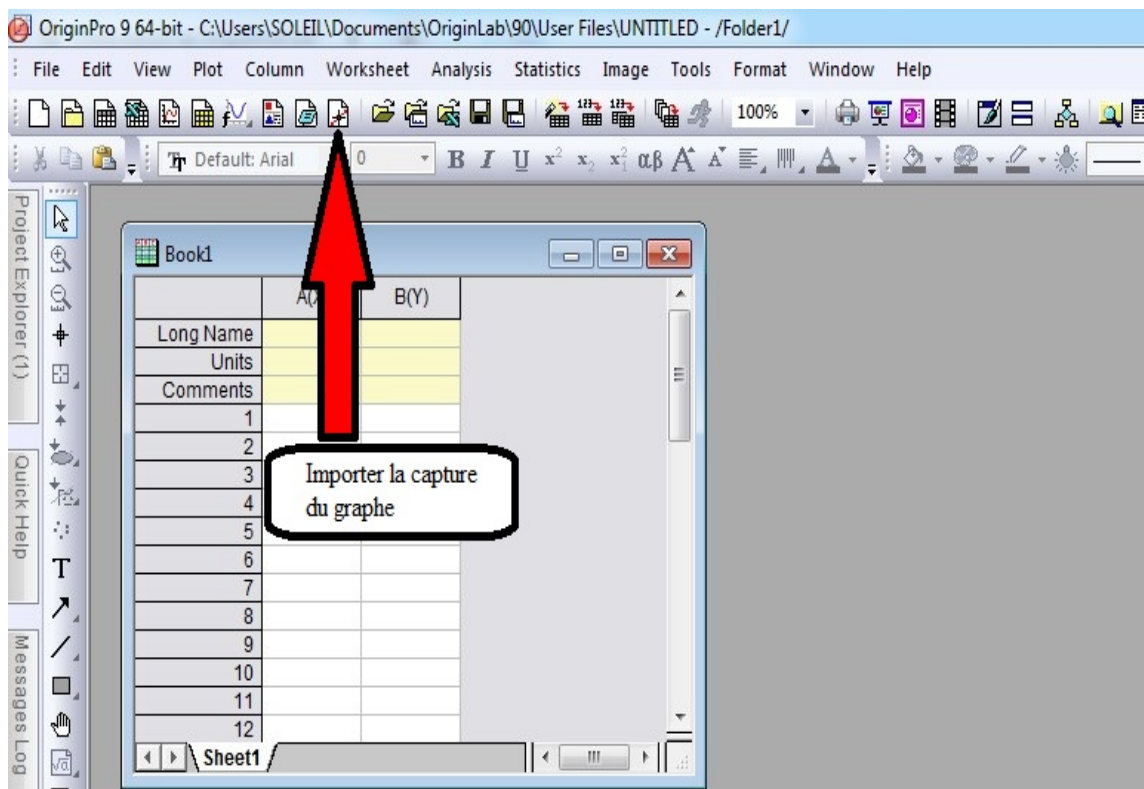


Figure 3.10 : Capture de l'importation de la carte sur OriginPro.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

On règle les paramètres du repère de coordonnées.

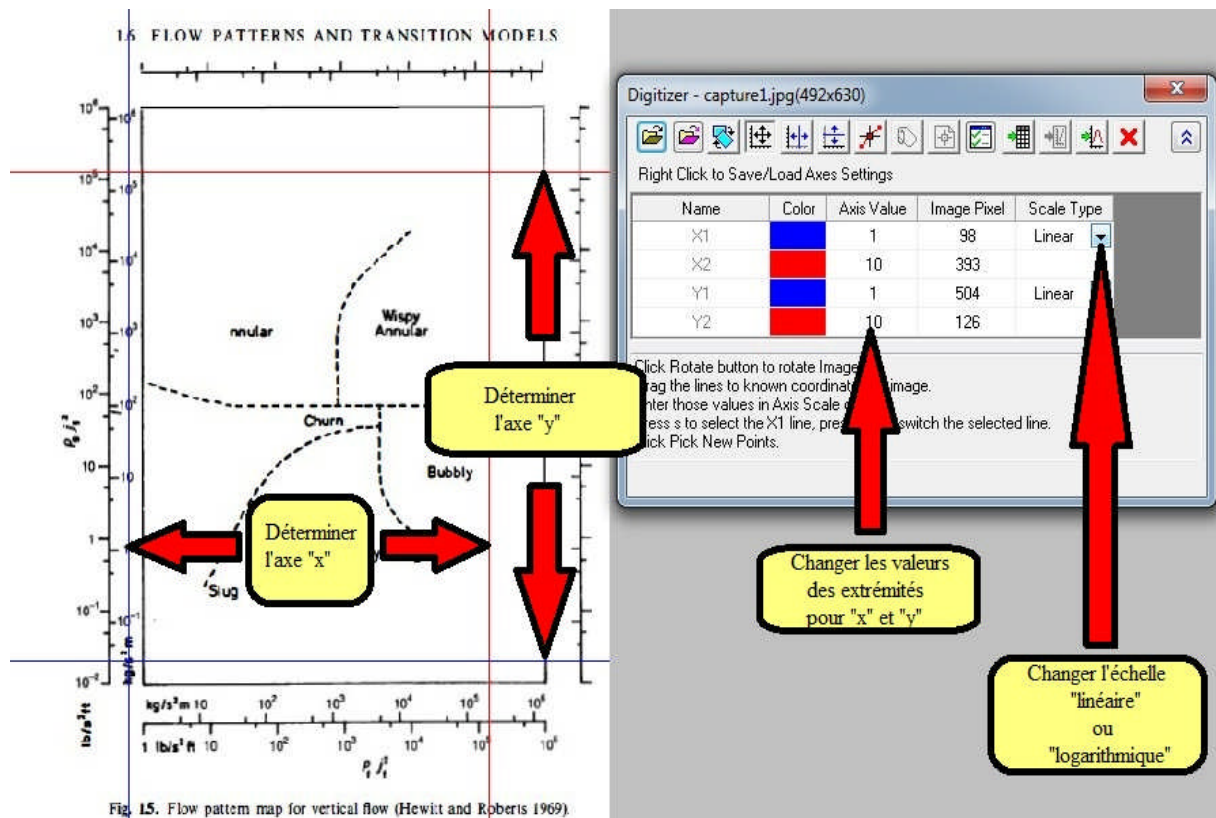


Figure 3.11 : Capture de réglage des paramètres du repère.

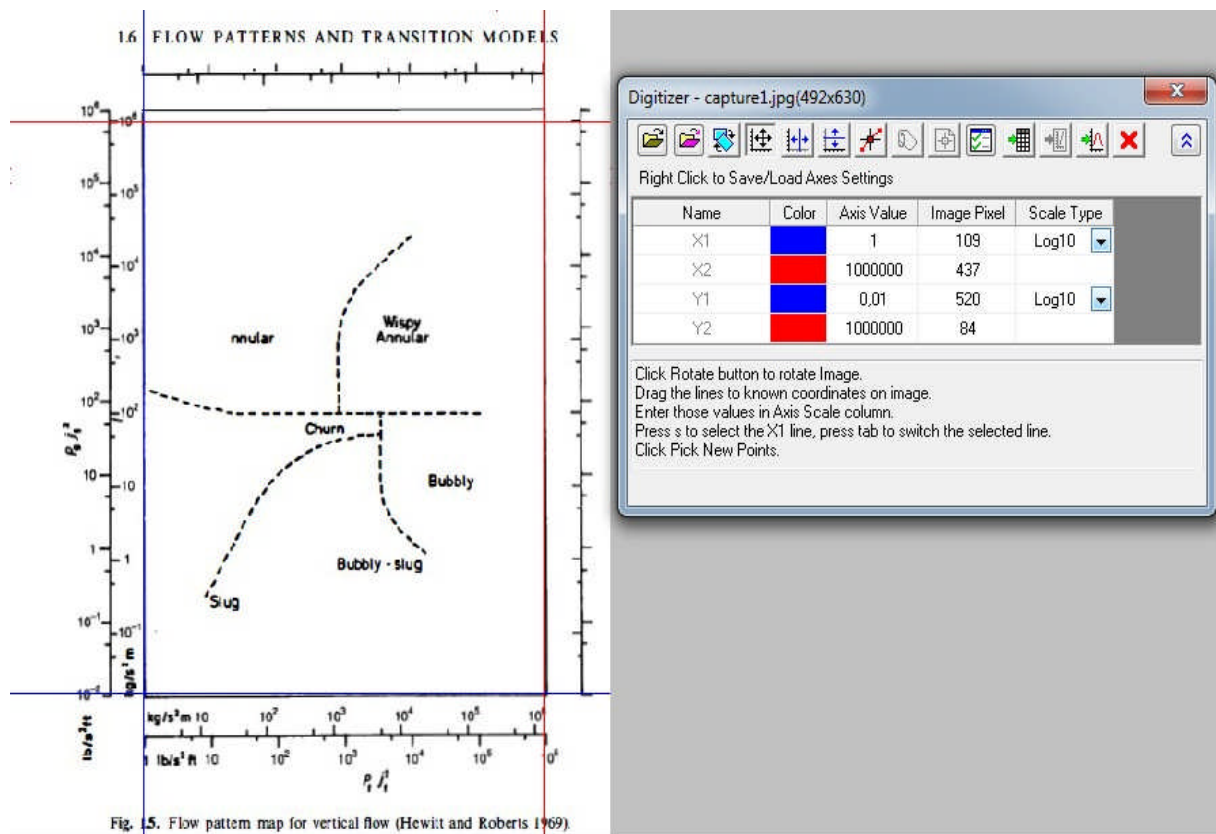


Figure 3.12 : Capture où on a réglé tous les paramètres du repère.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

On clique ici pour sélectionner des points de graphe original.

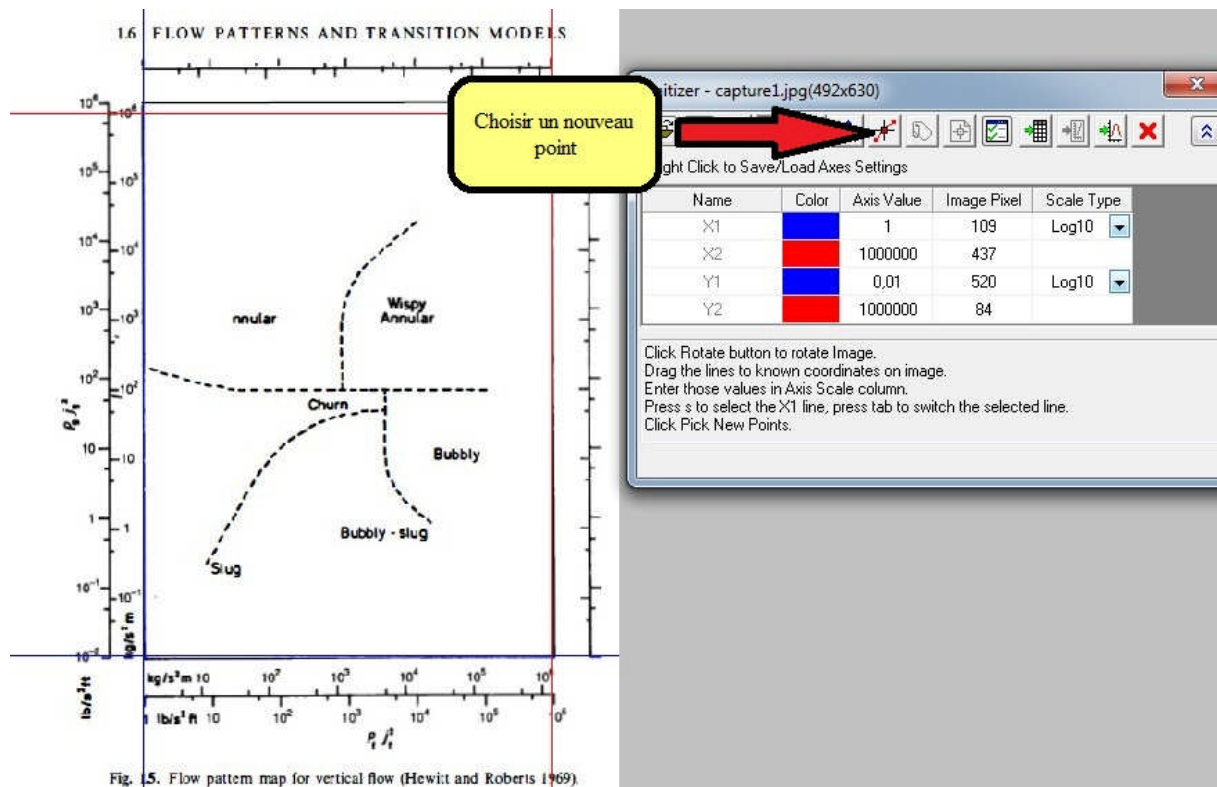


Figure 3.13 : Capture qui représente où cliqué pour commencer à sélectionner les points du graphe original.

On commence le traçage des points en faisant « Double clic sur le bouton droit de la souris » et après avoir fini la sélection on clique sur « Done ».

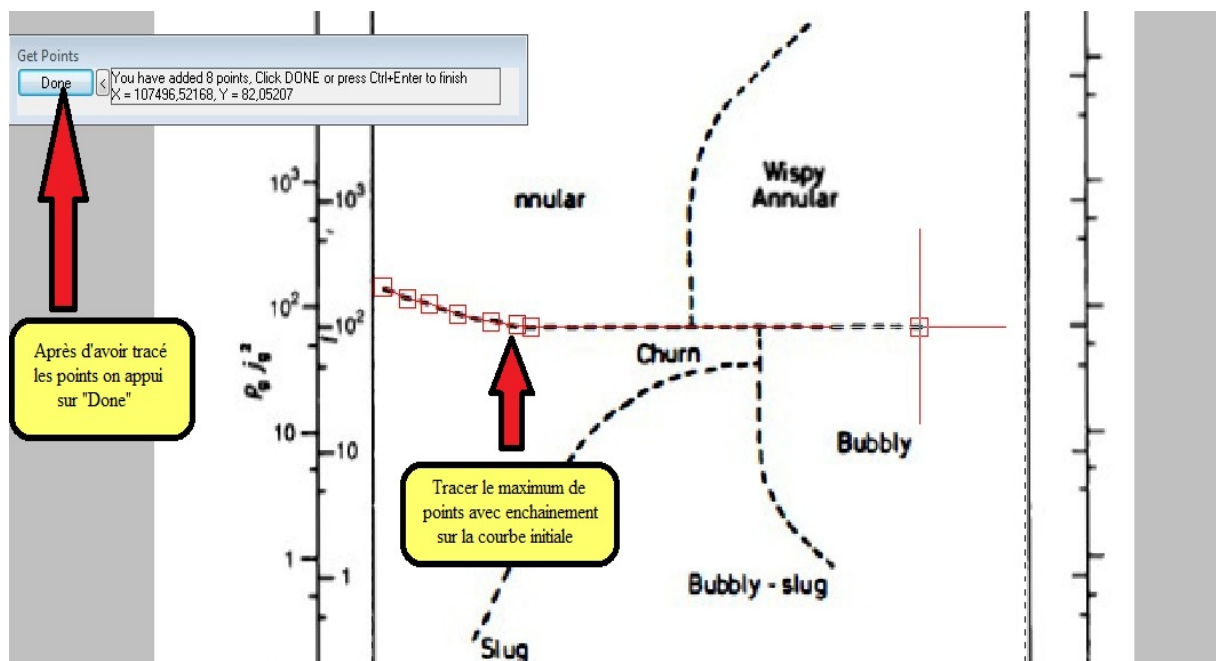


Figure 3.14 : Capture qui représente le traçage des points sur le graphe original.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

Après avoir tracé les points, on va choisir une option parmi les options citées dans la capture, pour notre cas on va aller pour copier les coordonnées.

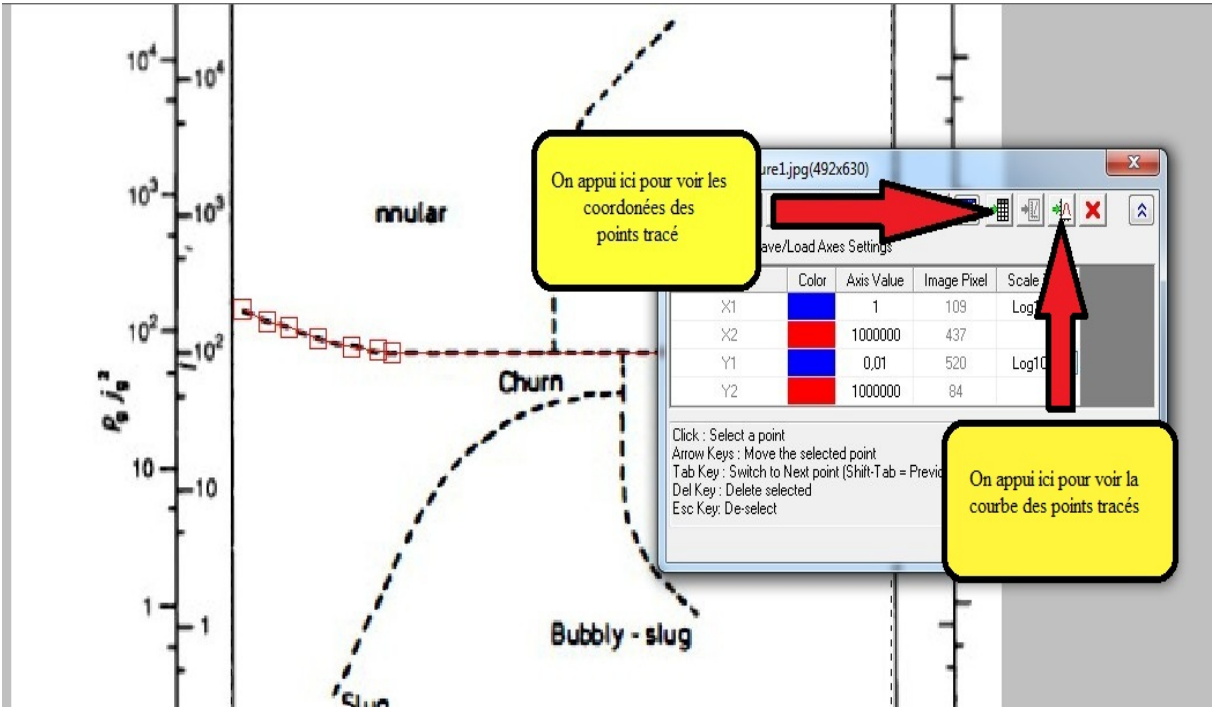


Figure 3.15 : Capture qui représente où trouver les coordonnées des points sélectionnés.

On sélectionne et on copie les points pour les coller sur EXCEL.

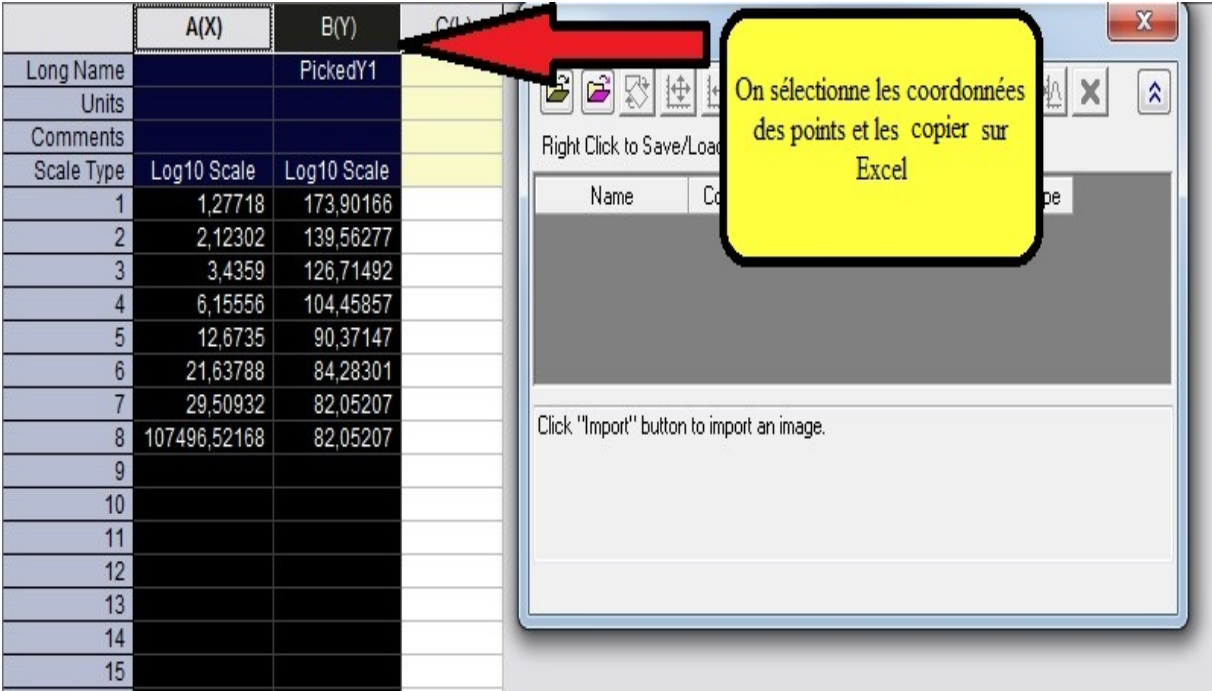


Figure 3.16 : Capture qui représente la sélection des coordonnées des points sélectionnés sur le graphe original.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

III.2.2. Représentation graphique sur EXCEL :

Après avoir numérisé la photo du graphique original, on va copier les coordonnées pour les tracer sur Excel pour la facilité de la manipulation.

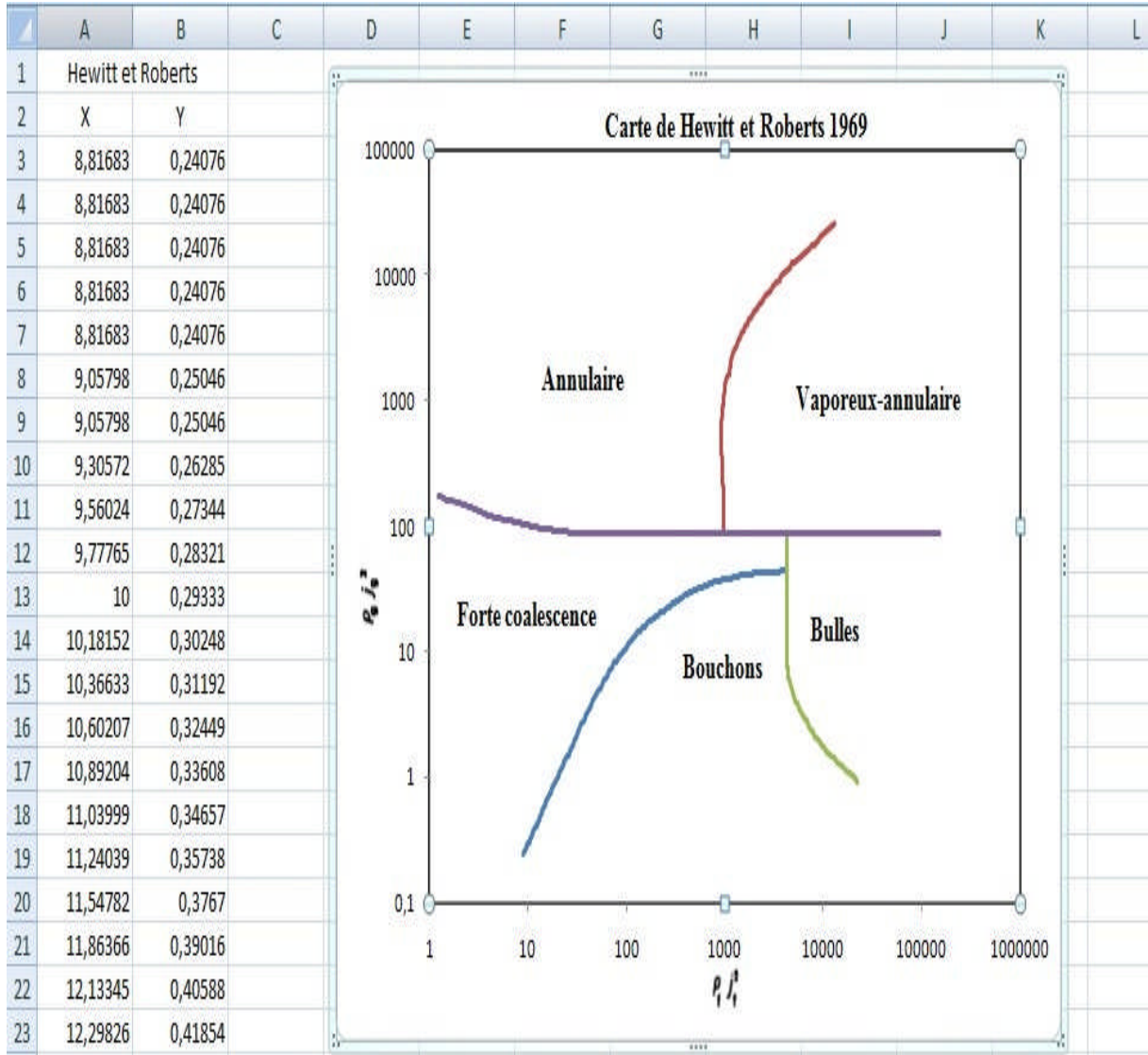


Figure 3.17 : Capture qui représente le traçage des points sélectionnés sur le graphe original.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

Enfin, on fait les opérations nécessaires pour l'utilisation de notre nouveau graphe.

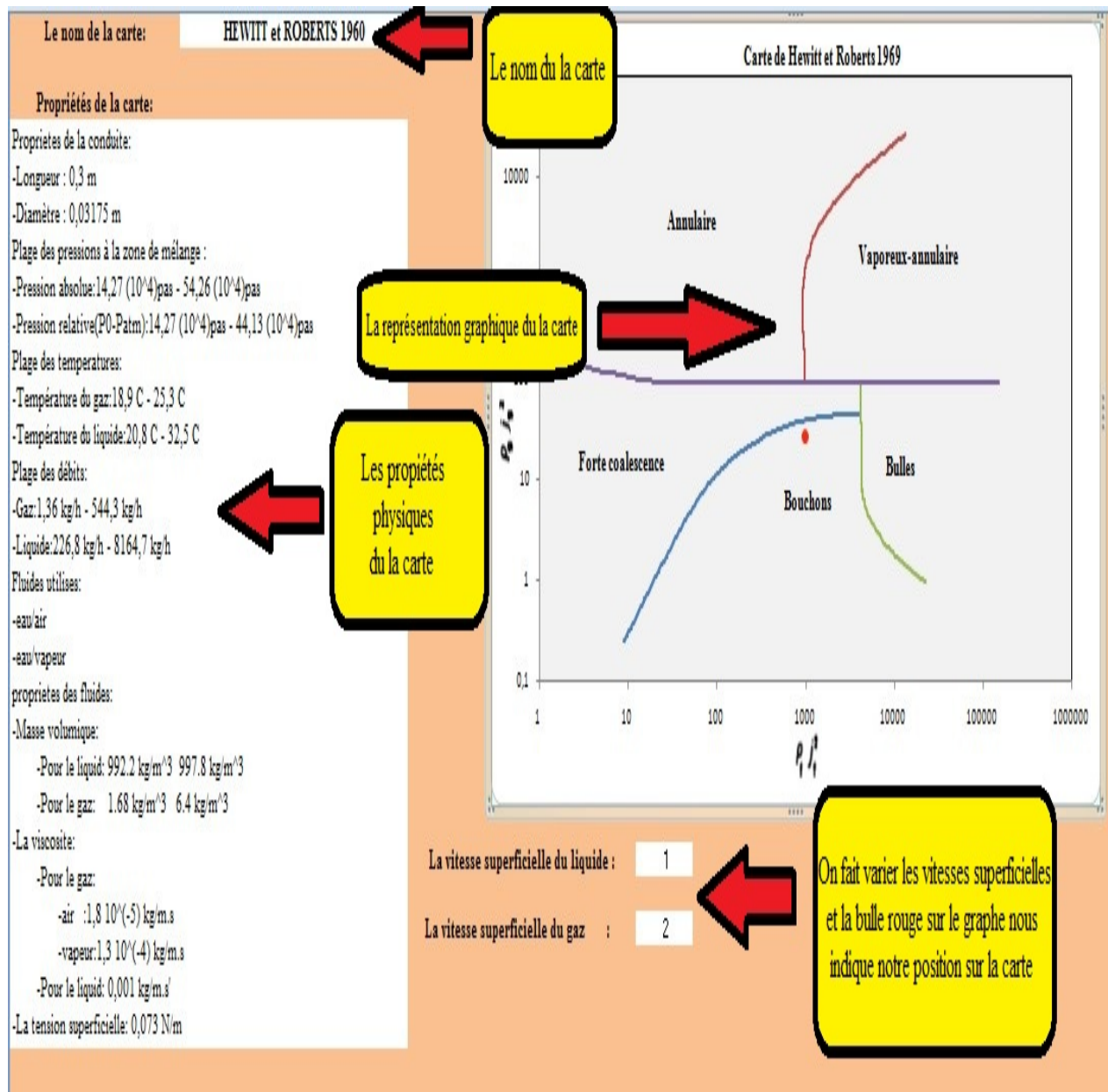


Figure 3.18 : Capture qui représente la phase finale de notre numérisation de la carte du HEWITT et ROBERTS.

On fait la même chose pour toutes les cartes montrées ci-dessus.

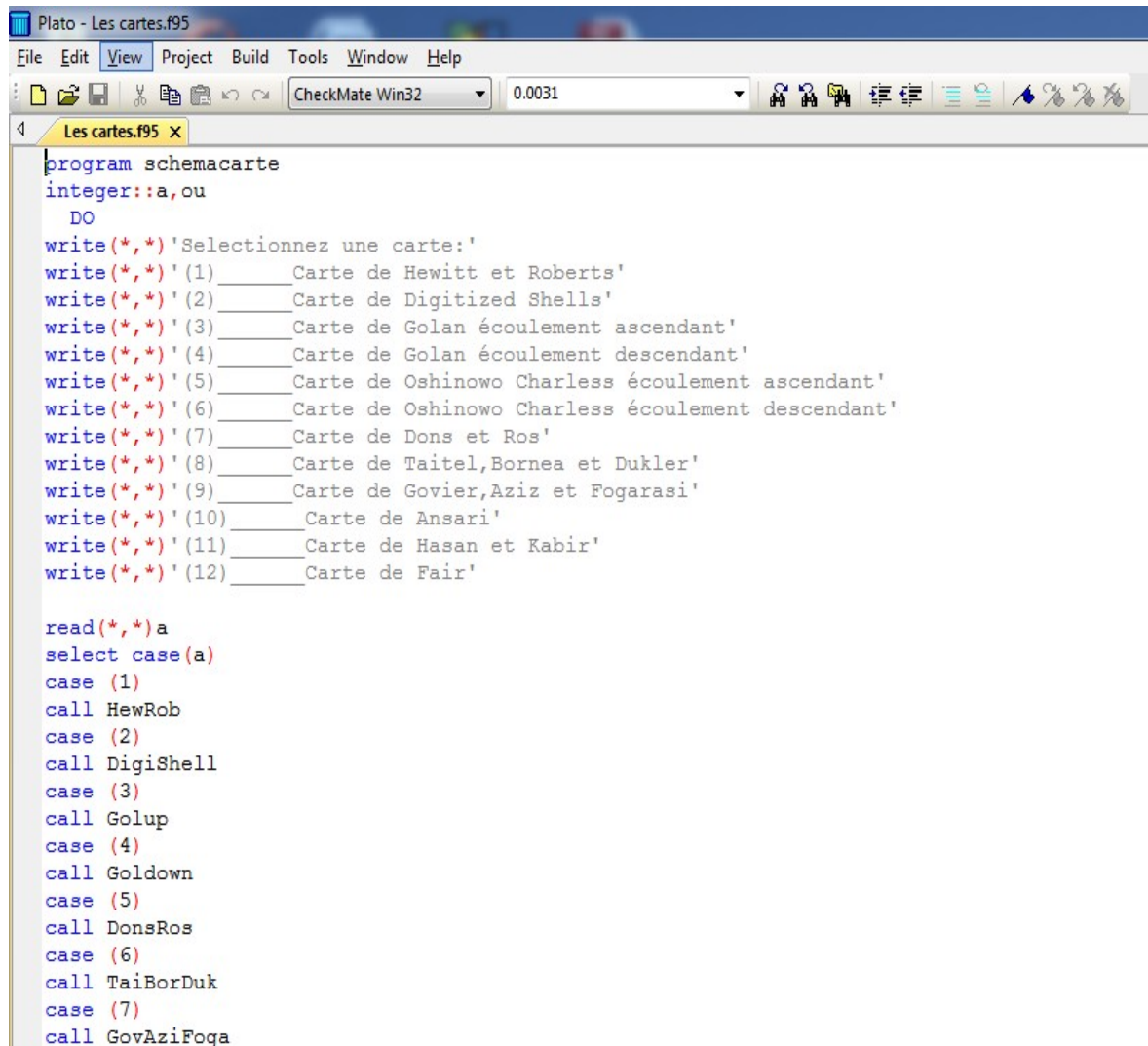
Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

III.3.1. Codage des cartes avec FORTRAN :

Pour les calculs scientifiques il ya pas mieux que FORTRAN pour coder et ça pour plusieurs raisons la simplicité de son langage et la vitesse de calcul. Les cartes d'écoulement présentées précédemment au chapitre 2 ont été programmées sur le langage FORTRAN, douze cartes ont été mises en œuvre (voir la figure 3.19).

La procédure d'exécution est donnée ci-après :

Premièrement, on va coder les cartes.



```
program schemacarte
integer::a,ou
DO
write(*,*)'Selectionnez une carte:'
write(*,*)'(1) _____ Carte de Hewitt et Roberts'
write(*,*)'(2) _____ Carte de Digitized Shells'
write(*,*)'(3) _____ Carte de Golan écoulement ascendant'
write(*,*)'(4) _____ Carte de Golan écoulement descendant'
write(*,*)'(5) _____ Carte de Oshinowo Charless écoulement ascendant'
write(*,*)'(6) _____ Carte de Oshinowo Charless écoulement descendant'
write(*,*)'(7) _____ Carte de Dons et Ros'
write(*,*)'(8) _____ Carte de Taitel,Bornea et Dukler'
write(*,*)'(9) _____ Carte de Govier,Aziz et Fogarasi'
write(*,*)'(10) _____ Carte de Ansari'
write(*,*)'(11) _____ Carte de Hasan et Kabir'
write(*,*)'(12) _____ Carte de Fair'

read(*,*)a
select case(a)
case (1)
call HewRob
case (2)
call DigiShell
case (3)
call Golup
case (4)
call Goldown
case (5)
call DonsRos
case (6)
call TaiBorDuk
case (7)
call GovAziFoga
```

Figure 3.19 : Capture d'écran pour le codage des cartes avec FORTRAN 95.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

Deuxièmement, on va exécuter le programme.



Figure 3.20 : Capture d'écran pour la construction de programme des cartes avec FORTRAN 95.

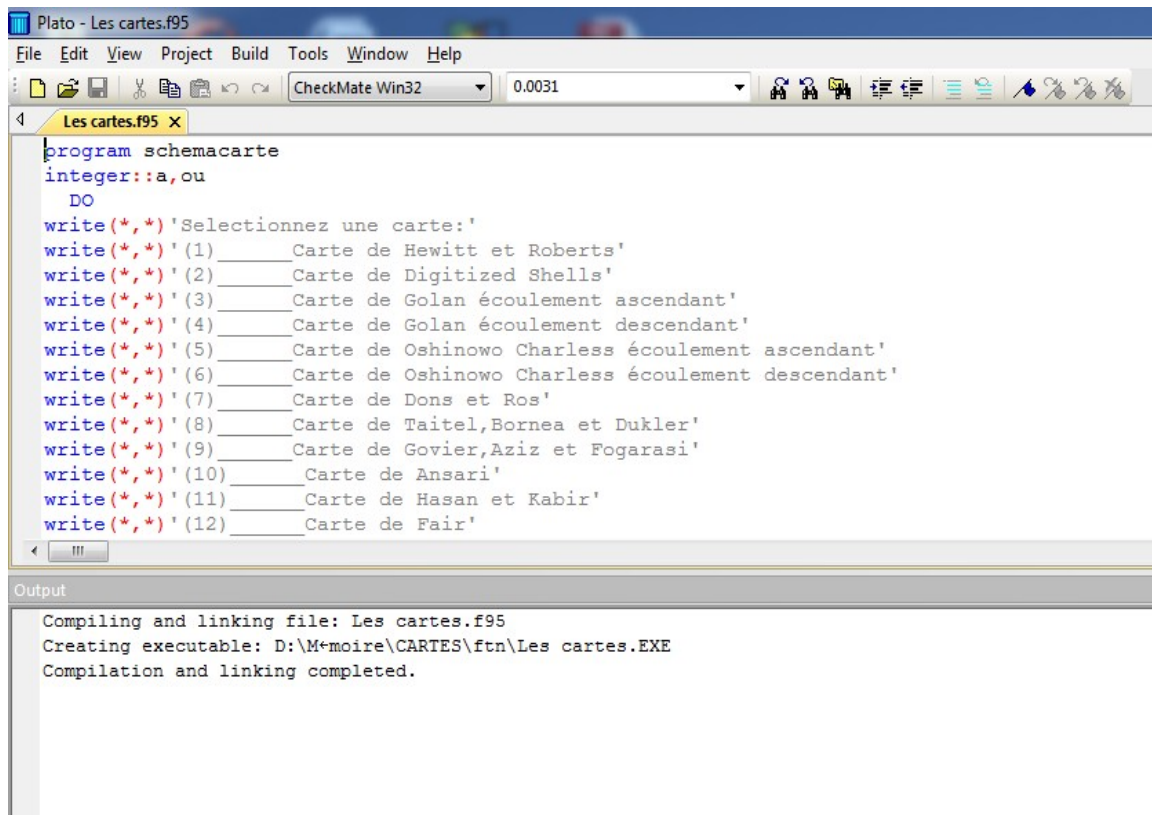
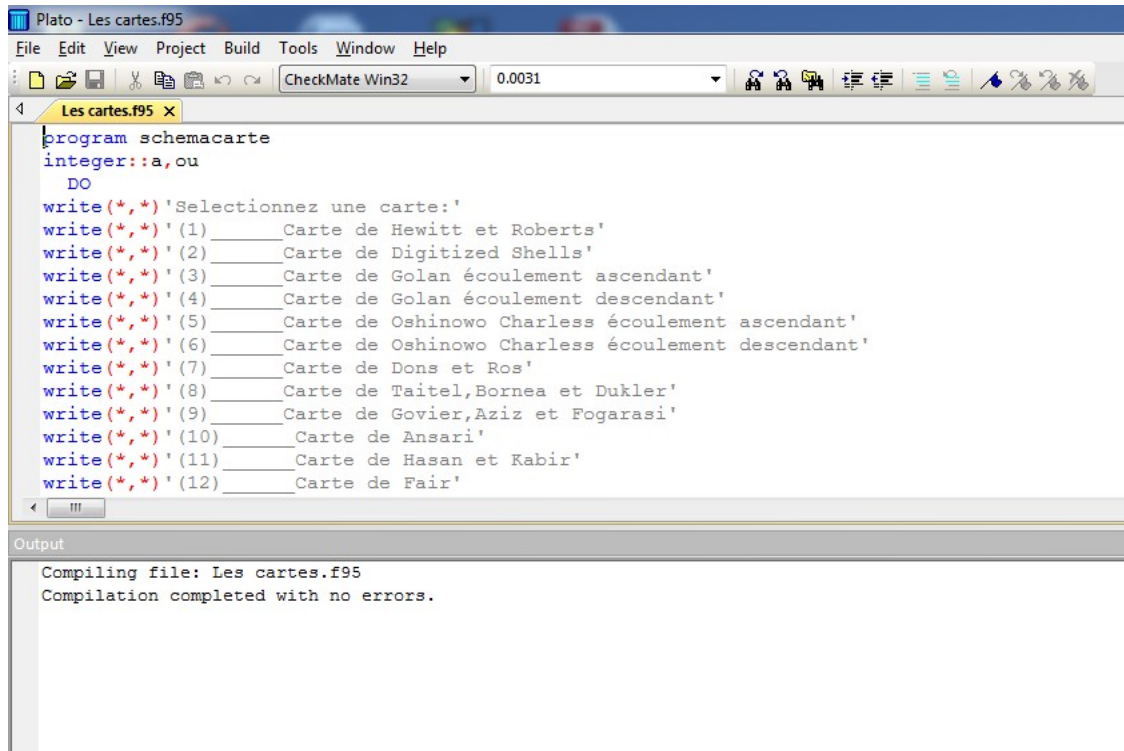


Figure 3.21 : Capture d'écran montre que la construction de programme des cartes avec FORTRAN 95 est bien effectuée.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

Troisièmement, on va assembler le programme et vérifier s'il n'a pas d'erreur avec l'instruction « Compile » dans la barre de construction « Build » ou bien on clique directement sur « Ctrl+F7 ».

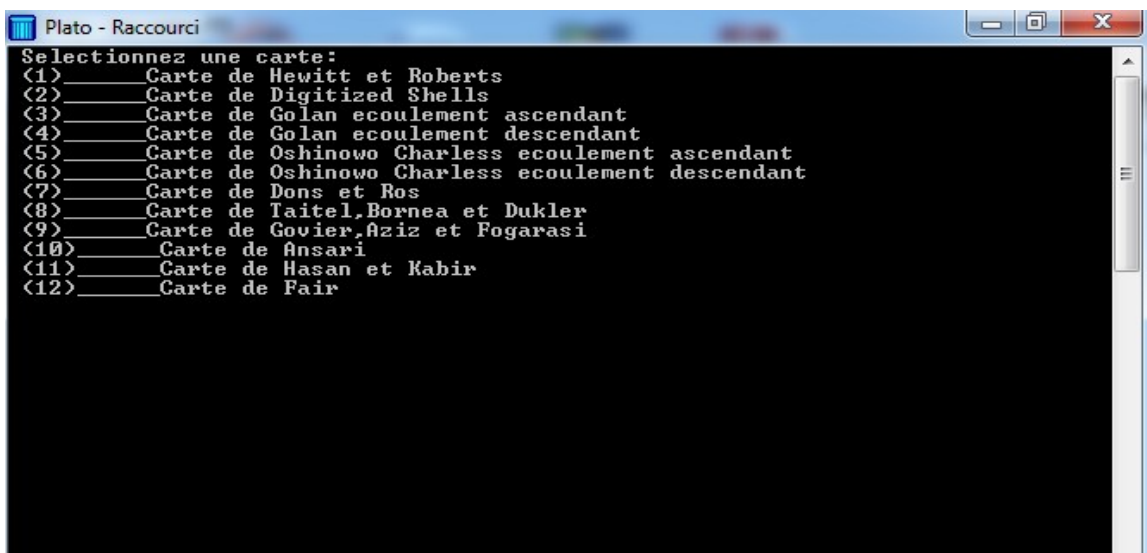


```
Plato - Les cartes.f95
File Edit View Project Build Tools Window Help
CheckMate Win32 0.0031
Les cartes.f95 X
program schemacarte
integer::a,ou
DO
write(*,*)'Selectionnez une carte:'
write(*,*)'(1) _____ Carte de Hewitt et Roberts'
write(*,*)'(2) _____ Carte de Digitized Shells'
write(*,*)'(3) _____ Carte de Golan écoulement ascendant'
write(*,*)'(4) _____ Carte de Golan écoulement descendant'
write(*,*)'(5) _____ Carte de Oshinowo Charless écoulement ascendant'
write(*,*)'(6) _____ Carte de Oshinowo Charless écoulement descendant'
write(*,*)'(7) _____ Carte de Dons et Ros'
write(*,*)'(8) _____ Carte de Taitel,Bornea et Dukler'
write(*,*)'(9) _____ Carte de Govier,Aziz et Fogarasi'
write(*,*)'(10) _____ Carte de Ansari'
write(*,*)'(11) _____ Carte de Hasan et Kabir'
write(*,*)'(12) _____ Carte de Fair'

Output
Compiling file: Les cartes.f95
Compilation completed with no errors.
```

Figure 3.22 : Capture d'écran montre que l'assemblage de programme des cartes avec FORTRAN 95 est bien effectué.

Quatrièmement, on va exécuter le programme avec l'instruction « Start Run » dans la barre de construction « Build » ou bien on clique directement sur « Ctrl+F5 ».




```
Plato - Raccourci
Selectionnez une carte:
(1) _____ Carte de Hewitt et Roberts
(2) _____ Carte de Digitized Shells
(3) _____ Carte de Golan écoulement ascendant
(4) _____ Carte de Golan écoulement descendant
(5) _____ Carte de Oshinowo Charless écoulement ascendant
(6) _____ Carte de Oshinowo Charless écoulement descendant
(7) _____ Carte de Dons et Ros
(8) _____ Carte de Taitel,Bornea et Dukler
(9) _____ Carte de Govier,Aziz et Fogarasi
(10) _____ Carte de Ansari
(11) _____ Carte de Hasan et Kabir
(12) _____ Carte de Fair
```

Figure 3.23 : Capture d'écran montre le choix de cartes qu'on a dans le programme.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

On va sélectionner une carte en entrant le numéro de la carte.

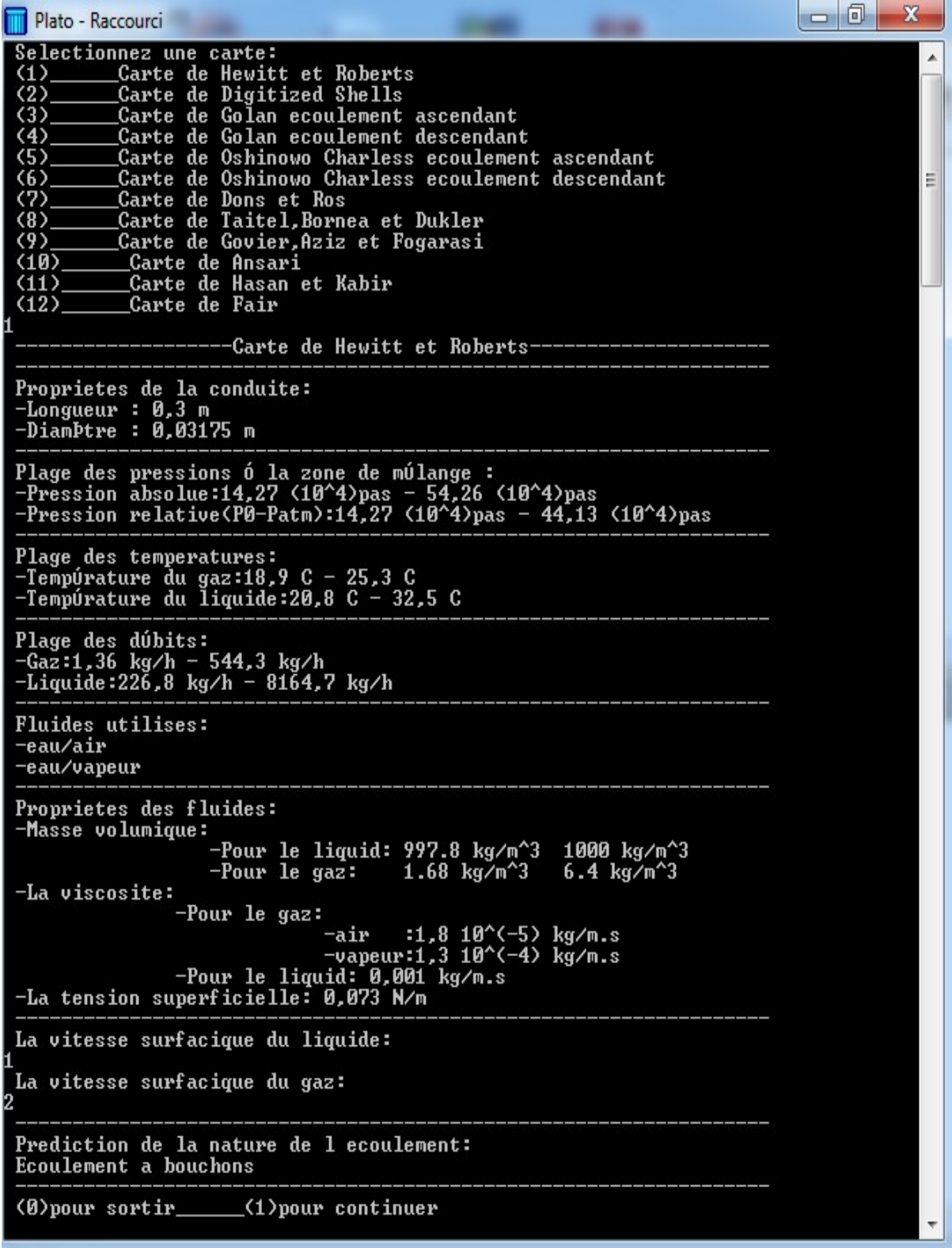


```
Plato - Raccourci
Selectionnez une carte:
(1) _____ Carte de Hewitt et Roberts
(2) _____ Carte de Digitized Shells
(3) _____ Carte de Golan ecoulement ascendant
(4) _____ Carte de Golan ecoulement descendant
(5) _____ Carte de Oshinowo Charless ecoulement ascendant
(6) _____ Carte de Oshinowo Charless ecoulement descendant
(7) _____ Carte de Dons et Ros
(8) _____ Carte de Taitel,Bornea et Dukler
(9) _____ Carte de Govier, Aziz et Fogarasi
(10) _____ Carte de Ansari
(11) _____ Carte de Hasan et Kabir
(12) _____ Carte de Fair
1
-----Carte de Hewitt et Roberts-----
Proprietes de la conduite:
-Longueur : 0,3 m
-Diametre : 0,03175 m
-----
Plage des pressions ó la zone de mólange :
-Pression absolue:14,27 (10^4)pas - 54,26 (10^4)pas
-Pression relative(P0-Patm):14,27 (10^4)pas - 44,13 (10^4)pas
-----
Plage des temperatures:
-Température du gaz:18,9 C - 25,3 C
-Température du liquide:20,8 C - 32,5 C
-----
Plage des débits:
-Gaz:1,36 kg/h - 544,3 kg/h
-Liquide:226,8 kg/h - 8164,7 kg/h
-----
Fluides utilises:
-eau/air
-eau/vapeur
-----
Proprietes des fluides:
-Masse volumique:
-Pour le liquid: 997.8 kg/m^3 1000 kg/m^3
-Pour le gaz: 1.68 kg/m^3 6.4 kg/m^3
-La viscosite:
-Pour le gaz:
-air :1,8 10^(-5) kg/m.s
-vapeur:1,3 10^(-4) kg/m.s
-Pour le liquid: 0,001 kg/m.s
-La tension superficielle: 0,073 N/m
-----
La vitesse surfacique du liquide:
```

Figure 3.24 : Capture d'écran montre les propriétés de la carte sélectionnée.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

On va donner les vitesses superficielles du gaz et de liquide en (m/s).



```
Plato - Raccourci
Selectionnez une carte:
(1) Carte de Hewitt et Roberts
(2) Carte de Digitized Shells
(3) Carte de Golan ecoulement ascendant
(4) Carte de Golan ecoulement descendant
(5) Carte de Oshinowo Charless ecoulement ascendant
(6) Carte de Oshinowo Charless ecoulement descendant
(7) Carte de Dons et Ros
(8) Carte de Taitel,Bornea et Dukler
(9) Carte de Govier,Aziz et Fogarasi
(10) Carte de Ansari
(11) Carte de Hasan et Kabir
(12) Carte de Fair
1
-----Carte de Hewitt et Roberts-----
Proprietes de la conduite:
-Longueur : 0,3 m
-Diametre : 0,03175 m
-----
Plage des pressions ó la zone de mólange :
-Pression absolue:14,27 (10^4)pas - 54,26 (10^4)pas
-Pression relative(P0-Patm):14,27 (10^4)pas - 44,13 (10^4)pas
-----
Plage des temperatures:
-Tempúrate du gaz:18,9 C - 25,3 C
-Tempúrate du liquide:20,8 C - 32,5 C
-----
Plage des dúbits:
-Gaz:1,36 kg/h - 544,3 kg/h
-Liquide:226,8 kg/h - 8164,7 kg/h
-----
Fluides utilises:
-eau/air
-eau/vapeur
-----
Proprietes des fluides:
-Masse volumique:
-Pour le liquid: 997.8 kg/m^3 1000 kg/m^3
-Pour le gaz: 1.68 kg/m^3 6.4 kg/m^3
-La viscosite:
-Pour le gaz:
-air :1,8 10^(-5) kg/m.s
-vapeur:1,3 10^(-4) kg/m.s
-Pour le liquid: 0,001 kg/m.s
-La tension superficielle: 0,073 N/m
-----
La vitesse surfacique du liquide:
1
La vitesse surfacique du gaz:
2
-----
Prediction de la nature de l ecoulement:
Ecoulement a bouchons
-----
(0)pour sortir____(1)pour continuer
```

Figure 3.25 : Capture d'écran montre la prédiction de la nature d'écoulement de la carte sélectionnée.

Si on fait entrer « 1 » le programme nous propose à nouveau les choix de cartes et si on fait entré « 0 » le programme s'arrête.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

```
Plato - Raccourci
La vitesse surfacique du gaz:
2
-----
Prediction de la nature de l'ecoulement:
Ecoulement a bouchons
-----
<0>pour sortir____<1>pour continuer
1
Selectionnez une carte:
(1)____ Carte de Hewitt et Roberts
(2)____ Carte de Digitized Shells
(3)____ Carte de Golan ecoulement ascendant
(4)____ Carte de Golan ecoulement descendant
(5)____ Carte de Oshinowo Charless ecoulement ascendant
(6)____ Carte de Oshinowo Charless ecoulement descendant
(7)____ Carte de Dons et Ros
(8)____ Carte de Taitel,Bornea et Dukler
(9)____ Carte de Govier,Aziz et Fogarasi
(10)____ Carte de Ansari
(11)____ Carte de Hasan et Kabir
(12)____ Carte de Fair
2
----- Carte de Digitized Shells -----
Proprietes de la conduite:
-Diametre : 0,5 m
-----
Plage des pressions ó la zone de mólange :
-Pression relative(P0-Patm):<89 (10^5)pas
-----
Plage des dúbits:
-Gaz:130 kg/h 1,3 10^(7) kg/h
-Liquide:13,3 kg/h - 1,33 10^(8) kg/h
-----
Fluides utilises:
-eau/air
-eau/vapeur
-----
Proprietes des fluides:
-Masse volumique:
-Pour le liquid: 860 kg/m^3
-Pour le gaz: 8 kg/m^3
-La viscosite:
-Pour le gaz:1,2 10^(-5) kg/m.s
-Pour le liquid: 1,6 10^(-4) kg/m.s
-La tension superficielle: 0,03 N/m
-----
Donner Frq
2
Donner Fr1
3
Ecoulement annulaire disperse
<0>pour sortir____<1>pour continuer
0
Press RETURN to close window...
```

Figure 3.26 : Capture d'écran montre une autre carte et le programme prédit de la nature d'écoulement de la deuxième carte sélectionnée.

L'organigramme du programme du calcul élaboré par les cartes d'écoulement est présenté ci-après.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

III.3.2. Organigramme implémentant les cartes de configuration d'écoulements :

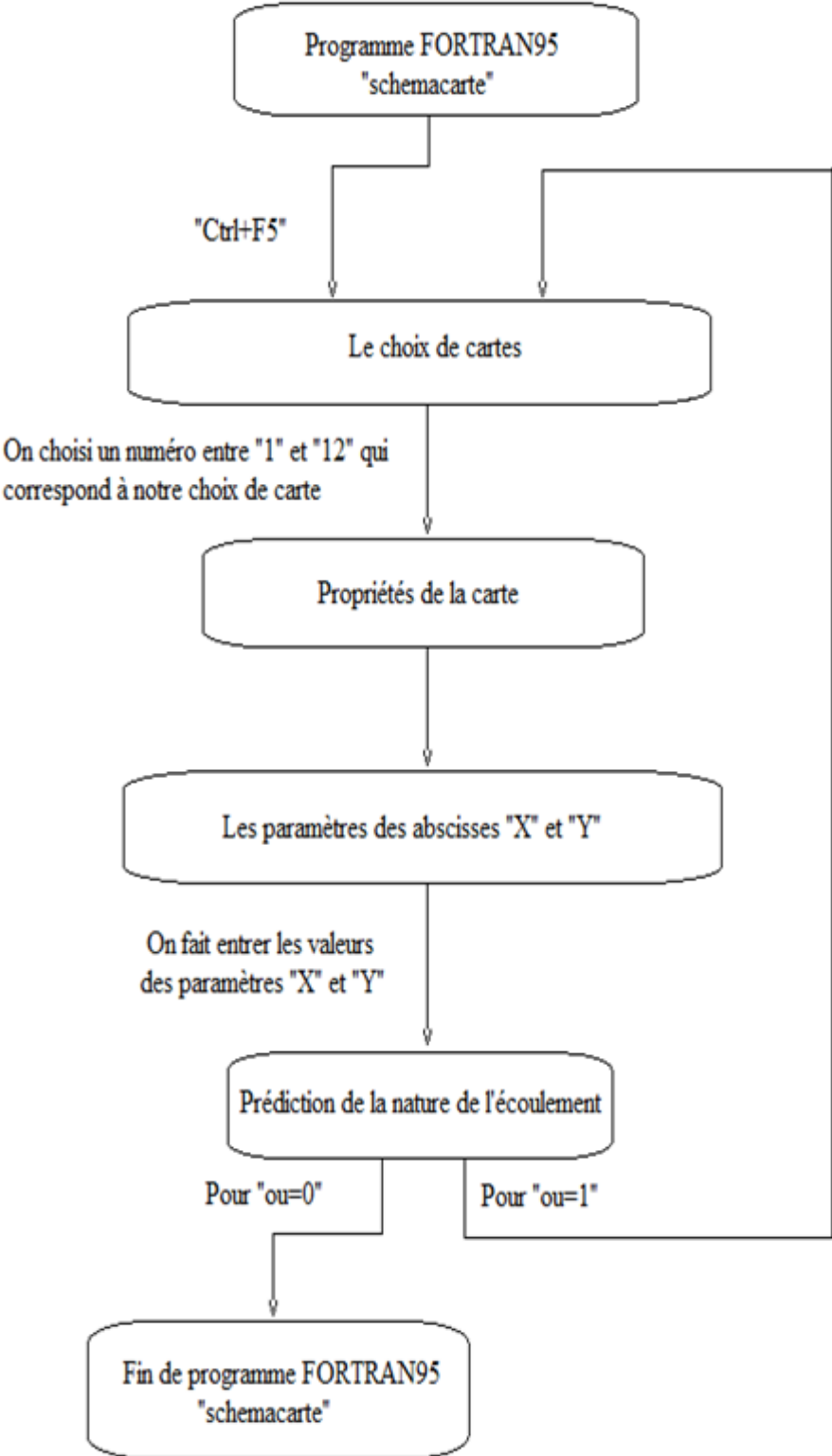


Figure 3.27 : Organigramme des cartes de configuration d'écoulement.

Chapitre III : Implémentation et codage des corrélations de fraction de vide et des cartes de configuration d'écoulement.

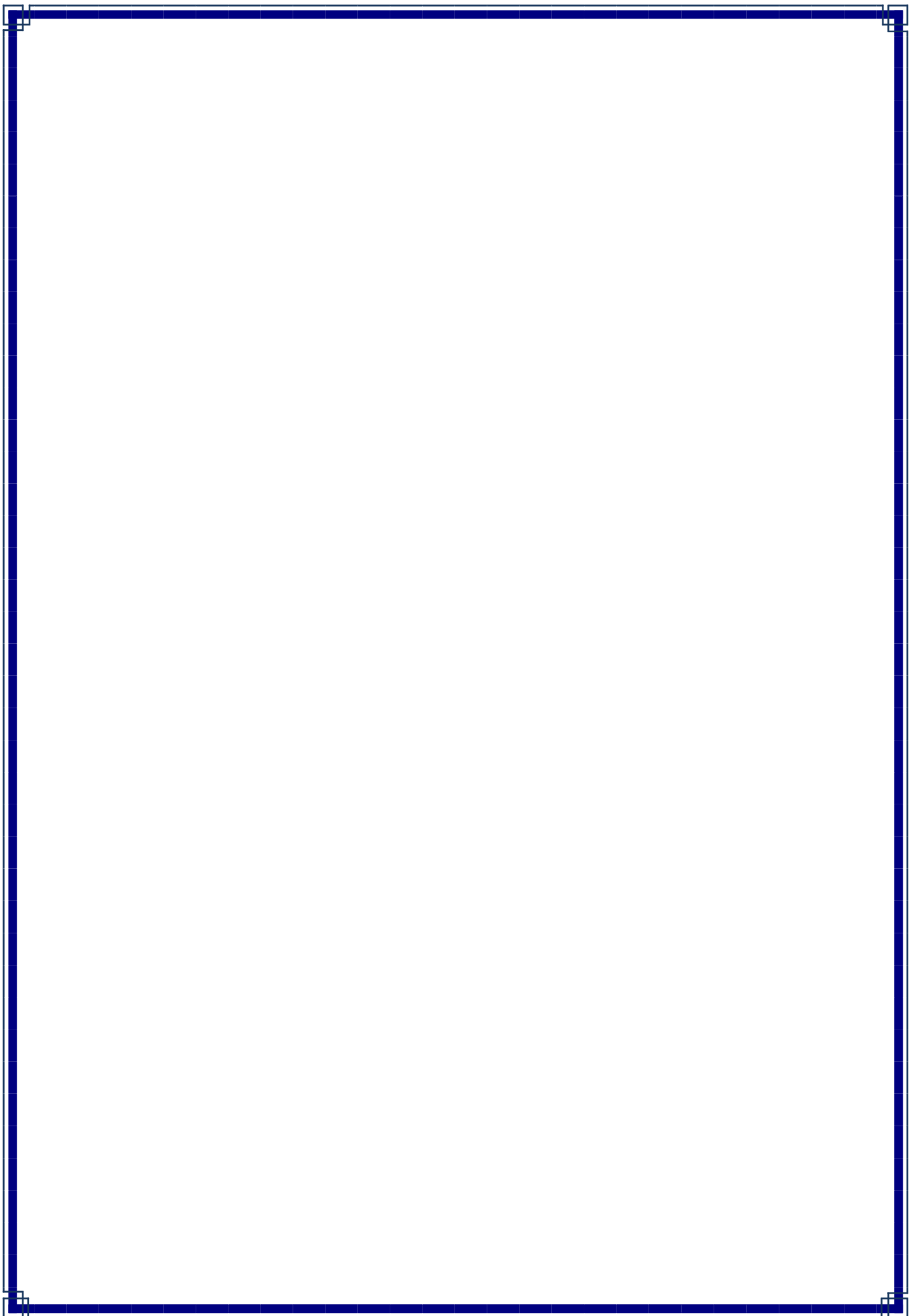
III.4. Conclusion :

La majorité des corrélations sont à base de suite de modèle de vitesse de dérive en tenant plus ou moins de propriétés physiques de chaque phase. On a constaté que les zones obtenues avec notre méthode de programmation est plus ou moins proche de vraies zones expérimentaux qu'on trouve dans la plupart des études effectuées à ce sujet.

Pour les cartes, ce genre de phénomène dans la partie programmation est un peu difficile parce que FORTRAN est un langage basic, on a progressé d'une façon optimale en trouvant les intervalles des vitesses superficielles et ça nous a permis de les déclarer comme boucle dans le programme pour élaborer ce genre de cartes (voir annexe A).

Ces deux méthodes sont un peu vastes pour prédire avec précision la configuration des écoulements parce qu'il faut prendre la zone de transition comme un intervalle. Avec les innovations technologiques on recommande la méthode de détermination à base de fluctuation des pressions locales est significativement plus précise et plus pratique (voir annexe B).

Conclusion générale



Conclusion :

Le présent travail entrepris présente quelques cartes de configurations d'écoulement utilisées dans les applications industrielles. Ces dernières ont pour rôle de contrôler et de savoir le type de configuration d'écoulement rencontré à l'intérieur des tubes des systèmes industriels.

Pour mener à bien notre travail, il a fallu en premier utiliser et maîtriser le langage Fortran qui n'a pas été dispensé dans notre formation.

Une recherche bibliographique sur les méthodes d'identification des régimes et type d'écoulement rencontrés en écoulement diphasique a été menée. Une attention particulière a été portée sur les corrélations de la fraction de vide et les cartes de configuration d'écoulement.

L'analyse des corrélations de fraction de vide nous a permis de reconnaître les corrélations de fraction de vide indépendantes du modèle d'écoulement les plus performantes. En outre, les meilleures corrélations pour quatre gammes différentes de fractions de vide, à savoir 0 à 0,25, 0,25 à 0,5, 0,5 à 0,75 et 0,75 à 1, ont été mises en évidence.

Après l'analyse des cartes, il y a quelques indications qui peuvent être utiles. Nous avons deux types de cartes : les cartes expérimentales et les cartes théoriques. Les cartes expérimentales étant limitées par les conditions de l'expérience, il faut utiliser celle qui est plus proche du but du chercheur. Cependant, il y a quelques contradictions entre les différentes cartes avec des conditions expérimentales similaires. Il pourrait être dû à la difficulté de distinguer le modèle par voie visuelle, ou à l'absence de points expérimentaux. Quoi qu'il en soit, il y a des cartes qui montrent de meilleurs résultats que d'autres et nous avons fait une liste avec eux. D'autre part, nous avons les cartes théoriques, qui ne sont pas limitées aux conditions expérimentales, mais supposent quelques comportements idéaux. La plupart de ces cartes ont été testées avec certaines expériences et elles semblent avoir des résultats encore meilleurs que les cartes expérimentales, mais on ne peut pas prouver leur bon comportement dans des conditions très différentes. Néanmoins, puisque ce type de carte fonctionne dans certaines conditions spécifiques pour lesquelles la carte n'a pas été particulièrement créée, on peut supposer que les hypothèses théoriques sont bonnes et est un moyen plus fiable d'extrapoler à d'autres conditions différentes que les conditions expérimentales.

Conclusion général

Il est préférable d'utiliser une carte théorique, mais nous pouvons également choisir l'une des expériences. Dans ce cas, il faut faire attention aux conditions spécifiques de son expérience.

Sur la base de cette recherche, des programmes de calcul rédigés en langage Fortran ont été élaborés. Ces derniers combinés avec le logiciel Excel permettent l'identification du régime et du type d'écoulement rencontrés en fonction des paramètres d'écoulement et de la géométrie de canal.

Références et bibliographiques :

- [1] MADANI Seyedeh Sara, Contributions expérimentales sur les dynamique instationnaire de bulles de Taylor. Thèse de Doctocat de l'INPL Mécanique Energétique, Université de Nancy, 2010.
- [2] Bouarab Samira, Simulation numérique des écoulements diphasique à l'aide de schéma hybrides de capture et de suivi d'interfaces ; mémoire de magister, Université M'Hamed Bougara Boumerdès , 2011.
- [3] Rémi REVELLINE, Exeprimental two-phase fluid flow in microchannels. Thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de LAUSANNE, 2005.
- [4] J.G.Collier et J.R.Thome, convective boiling and condensation, Oxford, 1994.
- [5] J.Ghajar Afshin, Void Fraction and Flow Patterns of Two-Phase Flow in Upward and Downward Vertical and Horizontal Pipes, School of mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University, USA, 2012.
- [6] S. M. BHAGWAT, Study of flow patterns and void fraction in vertical downward two phase flow, Bachelor of Engineering in Machanical Engineering, Amavarti University, Maharashtra, 2008.
- [7] Mohamed Ardan Bin Zubir, Investigation of two-phase flow behavior and patterns in horizontal and vertical pipes, Faculty of engineering University of MALAYA KUALA LUMPUR, 2015.
- [8] Jacques Lefrere, Intoduction au fortran 90/95/2003/2008, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 2017.
- [9] Noé Pinto del Corral, Analysis of Two-Phase Flow Pattern Maps,Brno University of technology Faculty of Mechanical Engineering Energy Institute, Brno, 2014.
- [10] Zhou, Jing, Flow patterns in vertical air/water flow with and without surfactant.The School of Engineering of the UNIVERSITY OF DAYTON, Dayton,Ohio, 2013.
- [11] Andrea Cioncolini, Two-phase flow patten maps for macrochannels, University of Manchester, 2015.

Annexe A :

D'après notre programme on a déduit les intervalles de vitesses superficielles pour chaque phase et pour chaque configuration.

Pour la carte de Hewitt et Roberts les intervalles sont représentés ci-dessous :

jg min	jg max	jf min	jf max
Annulaire			
58,27	67,35	0,03	3,39
48,99	58,27	0,03	2,86
40,04	48,99	0,03	2,27
32,72	40,04	0,03	1,75
28,37	32,72	0,03	1,47
23,18	28,37	0,03	1,27
18,49	23,18	0,03	1,13
14,68	18,49	0,03	1,07
5,05	14,68	0,03	0,97
4,51	5,05	0,07	0,97
3,75	4,51	0,05	0,97
vaporeux annulaire			
58,27	67,35	3,39	3,39
48,99	58,27	2,86	2,87
40,04	48,99	2,27	2,87
32,72	40,04	1,75	2,87
28,37	32,72	1,47	2,87
23,18	28,37	1,27	2,87
18,49	23,18	1,13	2,87
14,68	18,49	1,07	2,87
5,05	14,68	0,97	2,87
4,51	5,05	0,97	2,87
3,75	4,51	0,97	2,87
forte coalescence			
4,51	5,05	0,03	0,07
3,75	5,05	0,03	0,05
2,46	3,75	0,03	2,04
2,14	2,46	0,03	1,04
1,65	2,16	0,03	0,63
1,36	1,65	0,03	0,41
0,97	1,36	0,03	0,32
0,67	0,97	0,03	0,24
0,49	0,67	0,03	0,19

0,36	0,49	0,03	0,16
0,27	0,36	0,03	0,13
0,19	0,27	0,03	0,11
0,13	0,19	0,03	0,09
Bouchons			
2,14	2,46	1,04	2,04
1,65	2,16	0,63	2,04
1,36	1,65	0,41	2,04
0,97	1,36	0,32	2,04
0,67	0,97	0,24	2,51
0,49	0,67	0,19	2,83
0,36	0,49	0,16	4,14
0,27	0,36	0,13	4,61
0,19	0,27	0,11	4,61
0,13	0,19	0,09	4,61
Bulles			
2,46	3,75	2,036	2,870
2,14	2,46	2,036	2,870
1,65	2,16	2,036	2,870
1,36	1,65	2,036	2,870
0,97	1,36	2,036	2,870
0,67	0,97	2,508	2,870
0,49	0,67	2,831	2,870
0,36	0,49	4,136	4,136
0,27	0,36	4,606	4,606
0,19	0,27	4,606	4,606
0,13	0,19	4,606	4,606

Annexe B:

Le PDF de la pression différentielle dans différents régimes d'écoulement:

Les variations de pression différentielles comportent trois types de contributions :

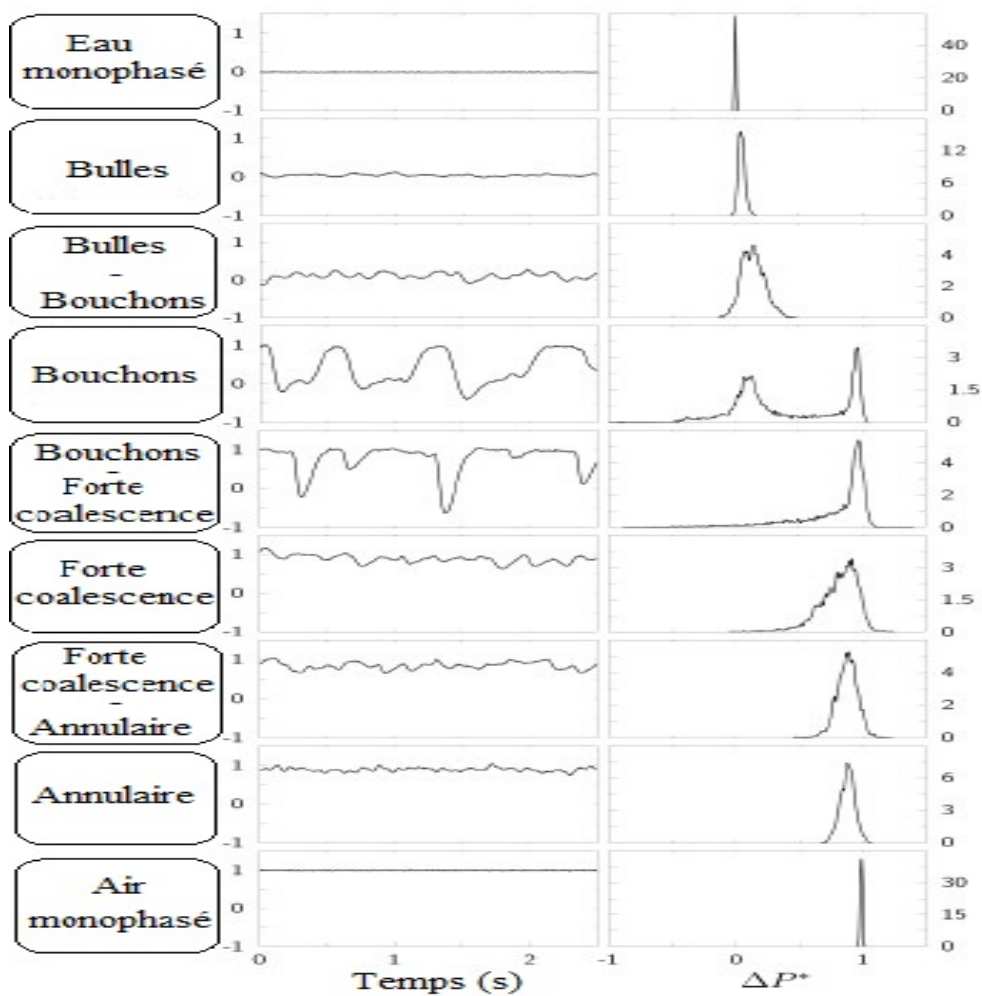
- i) "Le bruit", composé du bruit électronique combiné de tous les dispositifs impliqués dans les mesures et du bruit de discrétisation introduit par les résolutions finies du système d'acquisition de données et du programme de calcul PDF.
- ii) les fluctuations de la pression turbulente à l'intérieur de chaque phase.
- iii) les changements de pression entre les interfaces gaz-liquide.

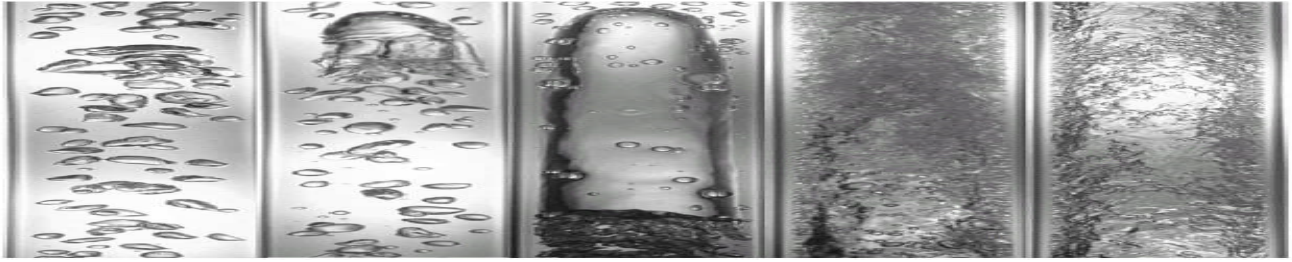
Pour une comparaison globale des grandeurs des trois contributions, le tableau 1 montre les plages de variance du paramètre de pression différentielle dans différents régimes d'écoulement.

Plages de variances des fluctuations des paramètres de pression différentielle pour différents régimes d'écoulement.

Régime d'écoulement	Variance de pression différentielle($\times 10^3$)
Écoulement d'eau (monophasé)	0,033 – 0,083
Écoulement d'air (monophasé)	0,044 – 0,063
Écoulement à bulles	0,19 – 1,7
Écoulement à bouchons	2,4 – 250
Écoulement à forte coalescence	27 – 64
Écoulement annulaire	2,6 – 34

Chronologie représentative (gauche) et PDF $f(\Delta P^*)$ (droite) du paramètre de pression différentielle sans dimension dans différents régimes d'écoulement.





Résumé :

La majorité des projets de recherches qui représentent plus d'importance ce sont ceux qui s'orientent vers un domaine industriel, où on affronte des problèmes réels, complexes et pluridisciplinaires. Notre étude est orientée vers un sujet d'actualité et d'un grand intérêt industriel, c'est le cas des écoulements diphasiques.

La complexité de ces écoulements est double, d'une part la dynamique des interfaces (Déformation, rupture, coalescence) qui varie d'une manière brusque. D'autre part ces interfaces peuvent évoluer à des échelles très variées allant de quelques microns dans le cas de la micro fluidique diphasiques jusqu'à des échelles de quelques mètres dans le cas de vagues déferlantes.

Les écoulements diphasiques sont prépondérants dans les procédés industriels et les phénomènes naturels. Du fait que la présence d'interfaces pose des problèmes majeurs en simulations numériques. Notre travail consiste à utiliser une approche numérique qui traitant les problèmes de suivi et de capteur d'interface dans les écoulements diphasiques à interface déformable.

Le présent mémoire porte sur l'étude théorique d'une section d'essai pouvant être installée sur une boucle d'essai destinée à visualiser les différentes configurations d'écoulements rencontrées lors d'un écoulement diphasique eau-air sans chauffage.

Les modèles permettant de prédire et de tracer les cartes de configurations sont passés en revue. Pour notre cas, notre choix est porté sur le modèle de ROBERT et HEWITT, car la section d'essai sera disposée verticalement pour un écoulement ascensionnel. Un programme de FORTRAN est utilisé, en plus des cartes de configuration permettent de calculer le taux de vide. Les résultats de ce programme sont présents dans ce mémoire.

Mots clés : Écoulement diphasique /Modèles d'écoulements/Fraction de vide /Corrélations / Cartes d'écoulements/ FORTRAN /.

