

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés
Laboratoire des Génie de l'Environnement (LGE)

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Présenté par

Sonia TOUATI et Zahra MEZIANE

Thème

Etude expérimentale de l'effet de la longueur de la colonne sur les performances d'un système de pompage de type airlift

Soutenu le 04/07/2023

Devant le jury composé de :

Prénom et Nom

Grade

Nassima HAMAIDI	MCA	Université A.Mira de Bejaia	Présidente
Taous BELAID	MCA	Université A.Mira de Bejaia	Examinatrice
Hamid TIGHZERT	MCA	Université A.Mira de Bejaia	Encadrant
Nassima KECHROUD	MCA	Université A.Mira de Bejaia	Co- Encadrante

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos sincères remerciements à M. Hamid TIGHZERT pour son encadrement, sa supervision attentive et ses précieuses orientations tout au long de notre travail expérimental et rédactionnel. Sa grande expertise et son dévouement ont été des éléments essentiels pour la réussite de ce mémoire.

Nous souhaitons également exprimer notre profonde gratitude à Nassima KECHROUD, notre co-encadrante, pour son soutien inconditionnel, ses conseils éclairés et son suivi attentif. Sa collaboration a été d'une valeur inestimable et a grandement contribué à la qualité de ce travail.

Un remerciement spécial est adressé à Madame Nassima HAMAIDI d'avoir accepté de présider le jury de notre soutenance. Sa présence et sa bienveillance lors de cette étape importante de notre parcours académique ont été très appréciées.

Nous tenons également à remercier chaleureusement Madame Taous BELAID pour avoir accepté d'examiner notre travail et d'être membre du jury. Sa contribution et ses commentaires constructifs ont enrichi ce mémoire.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Vos conseils, discussions et soutiens ont été précieux et ont permis d'enrichir nos connaissances et notre expérience.

Nos remerciements vont également à nos familles et à nos amis qui nous ont soutenues tout au long de ce parcours académique, pour leur encouragement constant et leur confiance en nous.

Sommaire

<i>Remerciements</i>	I
<i>Liste des figures</i>	V
<i>Nomenclature</i>	VII
Introduction	01

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique et notions fondamentales

I.1 Principe et fonctionnement d'un système de pompage airlift.....	03
I.2 Application des systèmes de pompage airlift.....	03
I.2.1 Colonnes à bulles.....	04
I.2.2 Traitement des eaux	04
I.3 3 Entretien des aquariums	04
I.2. 4 Exploitation de minerais marins	04
I.2. 5 Archéologie marine	04
I.2. 6 Applications nucléaires	05
I.2. 7 Domaine médical	05
I.3 Les régimes d'écoulement dans les systèmes de pompage airlift.....	05
I.4 Synthèse de quelques travaux antérieurs.....	07
I.4.1. Colonne de forme ordinaire (droite).....	07
I.4.2 Forme à élargissement brusque.....	08
I.4.3 Colonne de forme conique.....	10
1.4.4 Colonne de forme en S.....	12
I.4.5 Effet de la longueur de la colonne.....	13
I.4.6 Effet du diamètre.....	13

Chapitre II

Dispositif expérimental et techniques de mesures

II.1. Présentation de l'installation.....	15
II.2 Éléments constituant l'installation.....	15
a. Colonne (riser).....	15
b. Section de transit.....	17
c. Séparateur de phases.....	18
d. Bac coulissant.....	19
e. Alimentation en phase liquide.....	20
f. Alimentation en phase gazeuse	20
g. Compresseur.....	20
h. Systèmes d'injection utilisés.....	21
i. Débitmètres à air	21
II.3 Fonctionnement de l'installation.....	22
II.4 Techniques de mesures.....	22
III.4.1 Mesure du débit minimum d'injection	22
III.4.2 Mesure du débit de la phase liquide.....	23
III.4.3 Mesure du taux de vide.....	23
II.5 Caractérisation visuelle.....	24
II.5 Contraintes expérimentales.....	24

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1. Analyse de la structure de l'écoulement.....	26
III.1.1 Configuration L1.....	26
III.1.2 Configuration L2.....	27
III.2. Débit minimum d'injection.....	28
III.3. Débit de la phase liquide.....	29
III.4 Rendement des système... ..	33
III.5 Rapport de glissement	50
III.6 L'efficacité.....	41

III.7 Analyse du taux de vide global.....	43
III.8 Analyse du taux de vide global.....	46
Conclusion.....	49
Références bibliographiques.....	51

LISTE DES FIGURES

Titre de la figure	Page
<i>Figure I.1 : Principaux régimes d'écoulement diphasique ascendant.....</i>	6
Chapitre I	
<i>Figure I.2 : Schéma d'un système de pompage airlift avec colonne ordinaire.....</i>	7
<i>Figure I.3 : Schéma d'un système de pompage airlift avec colonne à élargissement brusque...</i>	8
<i>Figure I.4 : Schéma d'un système de pompage airlift avec colonne de forme conique.....</i>	11
<i>Figure I.5 : Schéma du dispositif expérimental utilisé par Zakari et al. (2016)</i>	12
Chapitre II	
<i>Figure II. 1 : Schéma de la première configuration L1 du dispositif expérimental utilisé.....</i>	16
<i>Figure II. 2 : Schéma de la première configuration L2 du dispositif expérimental utilisé.....</i>	17
<i>Figure II.3 : Section de transit de la configuration L1</i>	18
<i>Figure II.4 : Entrée de la colonne de la configuration L2.....</i>	18
<i>Figure II.4 : Entrée de la colonne de la configuration L2.....</i>	18
<i>Figure II.5 : Séparateurs de phases.....</i>	18
<i>Figure II.6 : Bac coulissant.....</i>	19
<i>Figure II.7 : Compresseur utilisé.....</i>	20
<i>Figure II.8 : Débitmètres à air utilisés dans les deux configurations.....</i>	21
<i>Figure II. 9. : Bac gradué pour la mesure du débit.....</i>	23
<i>Figure II.10: photographie de l'installation expérimentale utilisée.....</i>	25
Chapitre III	
<i>Figure III.1 : Photographies de quelques structures d'écoulement observées avec la configuration L2.....</i>	27
<i>Figure III.2 : Évolution du débit minimum d'injection en fonction de la hauteur de plongée pour les deux configurations.....</i>	28
<i>Figure III.3. Évolution du débit de la phase liquide de la hauteur de plongée ($H_p=0,7$) dans le cas de la configuration L1.....</i>	29
<i>Figure III.4 : Évolution du débit de la phase liquide en fonction du débit d'air dans le cas de la configuration L1</i>	30
<i>Figure III.5 : Évolution du débit de la phase liquide en fonction du débit d'air dans le cas de la configuration L2.....</i>	30

Figure III.6 : Confrontation du débit de la phase liquide des deux configurations pour $H_p = 0,5$	32
Figure III.7 : Confrontation du débit de la phase liquide des deux configurations pour $H_p = 0,6$	32
Figure III.8 : Confrontation du débit de la phase liquide des deux configurations pour $H_p = 0,7$	33
Figure III 9 : Évolution du rendement du système dans le cas de la configuration L1 pour les trois hauteurs de plongée.....	34
Figure III 10 : Confrontation du rendement du système et du débit de la phase dans le cas le cas de configuration L1 et la hauteur de plongée $H_p = 0,7$	34
Figure III.11 : Évolution du rendement du système dans le cas de la configuration L2 pour les trois hauteurs de plongée.....	35
Figure III. 12 : Confrontation du rendement du système et du débit de la phase dans le cas le cas de configuration L1 et la hauteur de plongée $H_p = 0,7$	35
Figure III.13: confrontation du rendement des deux configuration pour $H_p=0,5$	36
Figure III.14: confrontation du rendement des deux configurations pour $H_p=0,6$	37
Figure III.15: confrontation du rendement des deux configurations pour $H_p=0,7$	38
Figure III.16 : Évolution du rapport de glissement dans le cas de la configuration L1 pour les trois hauteurs de plongées.....	38
Figure III.17 : Confrontation du rapport de glissement avec le rendement dans le cas de la configuration L1 ($H_p=0,5$).....	38
Figure III.18 : Évolution du rapport de glissement dans le cas de la configuration L2 pour les trois hauteurs de plongées.....	39
Figure III.19 : Confrontation du rapport de glissement avec le rendement dans le cas de la configuration L1 ($H_p=0,5$).....	39
Figure III.20 : Confrontation des rapports de glissements des deux configurations pour $H_p=0,5$	40
Figure III.21 : Confrontation des rapports de glissements des deux configurations pour $H_p=0,6$	40
Figure III.22 : Confrontation des rapports de glissements des deux configurations pour $H_p=0,7$	40
Figure III.23 : Évolution de l'efficacité dans le cas de la configuration L1 pour les trois hauteurs de plongées.....	41
Figure III.24 : Évolution de l'efficacité dans le cas de la configuration L2 pour les trois hauteurs de plongées.....	41
Figure III.25 : Confrontation de l'efficacité des deux configurations pour $H_p=0,5$	42

Figure III.26 : Confrontation de l'efficacité des deux configurations pour $H_p=0,6$	42
Figure III.27 : Évolution du taux de vide global en fonction du débit de l'air comprimé dans le cas de la configuration L1 pour les trois hauteurs de plongée.....	44
Figure III.28 : Évolution du taux de vide global en fonction du débit de l'air comprimé dans le cas de la configuration L2 pour les trois hauteurs de plongée.....	44
Figure III.29 : Confrontation du taux de vide des configurations pour $H_p=0,5$	45
Figure III.30 : Confrontation du taux de vide des configurations pour $H_p=0,6$	45
Figure III.31 : Confrontation du taux de vide des configurations pour $H_p=0,7$	46
Figure III.32 : Confrontation du taux de vide expérimental avec le modèle à écarts de vitesse (drift-flux) dans le cas de la configuration L1.....	48
Figure III.33 : Confrontation du taux de vide expérimental avec le modèle à écarts de vitesse (drift-flux) dans le cas de la configuration L2.....	48

NOMENCLATURE

Lettres latines

D :	Diamètre de la colonne.....	(m)
E :	Efficacité d'un système de pompage airlift.....	(-)
g :	Accélération de la pesanteur.....	(m/s ²)
H :	Hauteur d'entraînement de la phase liquide.....	(m)
H _l :	Hauteur de la phase liquide non aérée.....	(m)
H _m :	Hauteur du mélange diphasique dans la colonne ou la hauteur mouillée.....	(m)
H _p :	Hauteur de plongée.....	(m)
L :	Longueur de la colonne.....	(m)
P _a :	Pression atmosphérique.....	(Pa)
P _{inj} :	Pression d'injection d'air.....	(Pa)
Q _g :	Débit volumique de la phase gazeuse.....	(m ³ /s)
Q _l :	Débit volumique de la phase liquide.....	(m ³ /s)
S :	Rapport de glissement.....	(-)
U _g :	Vitesse superficielle de la phase gazeuse.....	(m/s)
U _l :	Vitesse superficielle de la phase liquide.....	(m/s)

Lettres grecques

ε :	Taux de vide global.....	(-)
η :	Rendement d'un système de pompage airlift.....	(-)
ρ _g :	Masse volumique de la phase gazeuse.....	(Kg/m ³)
ρ _l :	Masse volumique de la phase liquide.....	(Kg/m ³)
τ :	Contrainte de cisaillement	(Pa)

Introduction

Les systèmes airlift, en plus de leur utilisation comme réacteurs chimiques ou biochimiques, ainsi que comme colonnes à bulles, sont également largement reconnus pour leur utilité en tant que systèmes de pompage. Leur capacité à générer un écoulement ascendant sans pièces mobiles ni composants mécaniques en fait des alternatives attrayantes aux pompes traditionnelles. En incluant cette nouvelle application, les systèmes de pompage airlift démontrent leur polyvalence et leur capacité à répondre à des besoins variés dans des domaines aussi divers que l'industrie pétrolière, le traitement des boues, l'aquariologie, l'exploitation de minerais marins, l'archéologie marine, les applications nucléaires et le domaine médical. Leur adaptation et leur efficacité font d'eux des outils essentiels pour relever les défis spécifiques de chaque secteur (Kassab et al., 2001, 2009 ;2010 ; Hanafazideh, 2011a et 2011c ; Khalil, 1999).

Le fonctionnement et les performances des systèmes airlift dépendent de plusieurs paramètres opératoires et géométriques. Les paramètres opératoires comprennent le débit de gaz, les hauteurs de plongée, les propriétés physiques des phases (viscosité, densité, tension de surface, etc.), tandis que les paramètres géométriques incluent le diamètre et la longueur de la colonne ainsi que la forme de la colonne. Ces paramètres interagissent de manière complexe et influencent directement les performances du système de pompage (Hanafizadeh et Ghorbani, 2012).

Depuis l'émergence des systèmes airlift, de nombreuses recherches ont été entreprises pour améliorer leur rendement et leurs performances, en explorant la conception de nouvelles géométries de colonnes et en adoptant des configurations spécifiques pour maximiser leur efficacité de pompage. Cependant, malgré les progrès réalisés, la recherche dans ce domaine se poursuit afin de continuer à repousser les limites et à découvrir de nouvelles améliorations (Kassab et al., 2001, 2007, 2009, 2010 ; 2022 ; Hanafizadeh et al., 2011a ; Khalil et al., 1999 ; Ahmed et al., 2012, 2016 ; Tighzert et al., 2013 ; Fan et al., 2013 ; Reinmann,1990 ; De Cachard et Delhaye, 1996 ; Parker, 1980).

Dans le prolongement des recherches antérieures, notre mémoire se focalise sur l'effet de la longueur de la colonne sur les performances d'un système de pompage de type airlift. Nous procédons à une comparaison entre deux configurations distinctes, utilisant des colonnes de longueurs différentes. L'objectif principal de notre étude est d'évaluer l'impact de la longueur de la colonne sur le rendement et l'efficacité du système de pompage.

Le contenu de ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le chapitre premier fournit une introduction aux systèmes airlift et aux écoulements diphasiques, en mettant l'accent sur les principes fondamentaux et les travaux théoriques. Nous synthétisons également les résultats de recherches antérieures qui ont abordé des aspects similaires liés aux effets des paramètres géométrique sur les performances de ces systèmes de pompage.

Le deuxième chapitre est dédié à la description du dispositif expérimental utilisé dans notre étude, ainsi qu'aux techniques de mesure mises en œuvre pour évaluer les performances du système. Nous décrivons en détail les éléments constituant l'installation utilisée afin de mieux comprendre l'analyse des résultats qui seront présentés dans le chapitre suivant qui est le troisième chapitre. Ce dernier présente donc les résultats de nos expériences et les discussions qui en découlent.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique et notions fondamentales

I.1 Principe et fonctionnement d'un système de pompage airlift

Un système de pompage de type airlift est un dispositif permettant d'élever des liquides ou un mélange de liquides et de solides à travers un tuyau vertical, partiellement immergé dans le liquide, au moyen d'air comprimé introduit à la base d'une colonne verticale. A l'intérieur de la colonne se crée un mélange diphasique dont la densité sera inférieure à celle du liquide pur. Ceci fait que par les forces de flottaison et l'effet du gradient de pression, le mélange se déplace vers le haut jusqu'à la sortie de la colonne. Les principes du pompage par air lift sont connus depuis environ 1882, mais l'utilisation pratique de l'air lift n'est apparue qu'au début du XXe siècle (Khalil, et al.,1999 ; Kassab et al.,2001,2009, 2010 et 2022).

En comparaison à d'autres types de pompes, l'avantage des systèmes airlift utilisés comme pompe réside dans leur simplicité mécanique. Dans leur composition, ils sont dépourvus de toute pièces mobiles, ne nécessitent aucune lubrification et ne présentent aucun problème d'usure. Ceci rend leur maintenance facile et accessible à faible coût. Ils sont adéquats à l'utilisation dans des environnements corrosifs et pour la manipulation des produits toxiques. Ils sont aussi efficaces dans le cas des applications pétrolière (gaz-lift) quand il s'agit des puits de formes irrégulières où les pompes classiques ne peuvent pas être utilisées (Stenning et Martin, 1968 ; Khalil et al.,1999).

Il faut souligner qu'il n'existe pas de fournisseurs commerciaux pour ces systèmes. Les systèmes airlifts sont à concevoir et à construire pour chaque situation l'adapter aux besoins, aux buts recherchés et aux conditions d'utilisation (Kassab et al.,2001, 2010).

Les systèmes airlift utilisés pour la fonction du pompage sont efficaces pour des hauteurs de plongées relativement importantes. L'inconvénient rencontré lors de l'utilisation de ces systèmes est le faible rendement notamment quand il s'agit de faible hauteur de plongée (ou profondeur d'immersion). Pour cette raison, la plupart des investigations et numériques et expérimentales, sont à la recherche des conditions et des configurations géométriques qui puissent donner les meilleures performances.

I.2 Application des systèmes de pompage airlift

Les systèmes de pompage airlift offrent un large éventail d'applications dans différents domaines. Voici une description des domaines d'application courants :

I.2.1 Technique gaz-lift pour la récupération du pétrole

Les systèmes airlift sont largement utilisés dans l'industrie pétrolière pour la récupération du pétrole à partir de puits en épuisement ou de forme irrégulière. En utilisant le principe de l'injection de gaz inerte, ils permettent de stimuler la production de pétrole et d'optimiser l'exploitation des réserves (Khalil et al.,1999).

I.2.2 Traitement des eaux

Les systèmes airlift sont également utilisés dans le domaine du traitement des eaux et notamment la récupération des boues. Ils permettent la récupération efficace des boues générées par différents processus industriels tels que les stations d'épuration des eaux usées. Les systèmes airlift facilitent la séparation des solides et des liquides, contribuant ainsi à la gestion et à la valorisation des déchets (Stenning et Martin, 1968).

I.2.3 Entretien des aquariums

Les systèmes airlift sont utilisés dans les aquariums pour assurer l'aération et le renouvellement de l'eau. Ils permettent de maintenir un environnement sain pour les organismes marins en fournissant une oxygénation adéquate et en éliminant les impuretés présentes dans l'eau (Reinmann et al.,1990).

I.2. 4 Exploitation de minerais marins

Les systèmes airlift sont employés dans l'exploitation des minerais marins tels que les nodules polymétalliques présents au fond des océans. Ils facilitent la remontée des minerais à la surface en utilisant l'injection d'air pour créer un flux ascendant (Stenning et Martin, 1968 ; Kassab et al,2007 ; Kassab et al.,2010).

I.2. 5 Archéologie marine

Les systèmes airlift sont utilisés dans le domaine de l'archéologie marine pour la récupération d'objets précieux ou de vestiges historiques au fond de l'eau. Ils permettent de remonter délicatement les artefacts sans les endommager, offrant ainsi des opportunités de recherche et de préservation des sites archéologiques subaquatiques (Kassab et al,2007).

I.2.6 Applications nucléaires

Les systèmes airlift trouvent également des applications dans le domaine nucléaire, notamment pour le transfert de liquides et de substances radioactives. Leur conception spécifique permet d'assurer un transport sûr et contrôlé des matériaux dans les installations nucléaires (Clark et Dabolt, 1986 ; François et al, 1996).

I.2. 7 Domaine médical

Les systèmes de pompage airlift sont également utilisés dans le domaine médical, notamment pour maintenir un cœur en vie avant une transplantation. Dans le cadre des greffes cardiaques, les cœurs provenant de donneurs doivent être maintenus dans des conditions optimales jusqu'à leur transplantation. Les systèmes airlift permettent de fournir une perfusion continue et contrôlée de liquide oxygéné à travers les vaisseaux du cœur, assurant ainsi sa survie pendant le transport vers le receveur. Cette application vitale contribue à augmenter les chances de succès des greffes cardiaques et à sauver des vies (Wicomb et al. 1985 ; Hanafizadeh et Ghorbani, 2012).

I.3 Les régimes d'écoulement dans les systèmes de pompage airlift

La compréhension de la structure d'écoulement est essentielle pour optimiser les performances des systèmes airlift et adapter leur utilisation aux différentes applications. Des études expérimentales et numériques sont menées pour caractériser les régimes d'écoulement, comprendre leur transition et identifier les paramètres influents. Cela permet de concevoir des systèmes airlift adaptés aux besoins spécifiques de chaque domaine d'application, en maximisant leur efficacité et leur rendement (Tighzert, 2016).

Les systèmes airlift présentent une classification distincte des régimes d'écoulement diphasiques ascendants par rapport à celle des écoulements monophasiques. Alors que les écoulements monophasiques se limitent généralement aux régimes laminaire et turbulent, les systèmes airlift présentent une plus grande diversité en raison de la structure d'écoulement complexe et bien particulière. Il existe quatre régimes principaux (Khalil et al., 1999 ; Kassab et al., 2001, 2009, Hanafizadeh et al., 2011a, Tighzert et al., 2013).

Régime à bulles : dans cette structure d'écoulement le gaz est dispersé d'une façon homogène sous forme de petites bulles dans la phase liquide. Dans ce régime, les bulles remontent de manière intermittente dans la colonne. En se déplaçant, des collisions se

produisent entre elles ; elles coalescent, fusionnent et par conséquent, de nouvelles bulles plus grosse se forment. Le processus de coalescence se poursuit jusqu'à ce qu'il donne naissance au régime à poches.

Régime à poches : le régime à poches (*slug flow*) est caractérisé par la formation de grandes poches de gaz à l'intérieur de la colonne, résultant de la coalescence des bulles. La coalescence est favorisée par l'augmentation du débit d'air. Ces poches de gaz agissent comme des pistons, propulsant la phase liquide vers le haut. Selon la littérature, ce régime est considéré comme le plus approprié pour la fonction de pompage.

Régime turbulent baratté : le régime turbulent baratté naît de la destruction des poches qui ne peuvent plus maintenir leur forme avec l'augmentation du débit d'air. Il se caractérise par une forte turbulence et un mélange intense entre les phases gazeuse et liquide. Dans ce régime, des structures complexes se forment à l'intérieur de la colonne, favorisant un échange efficace de matière et d'énergie entre les phases. Cette agitation turbulente permet également un transport de la phase liquide vers le haut.

Régime annulaire : Le régime annulaire est caractérisé par une structure coaxiale de gaz et de liquide. Il se produit généralement à des débits d'air plus élevés, ce qui signifie qu'un débit de gaz important est suffisant pour se frayer un chemin au centre de la colonne, en plaquant la phase liquide contre la paroi sous forme d'un film qui se déplace lentement. Ce régime est le moins fréquent dans les systèmes airlift en raison de son impact négatif sur le transport de la phase liquide. En effet, il est souvent évité dans le cadre de la fonction de pompage. Dans ce régime, la phase liquide est entourée d'une enveloppe annulaire de gaz, créant une structure coaxiale.

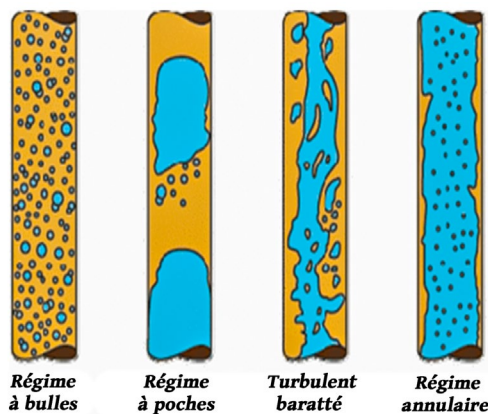


Figure I.1 : Principaux régimes d'écoulement diphasique ascendant

I.4 Synthèse de quelques travaux antérieurs

Dans ce qui suit, nous procédons à une synthèse des principales études expérimentales, théoriques et numériques réalisés dans la littérature, portant sur l'effet des paramètres géométriques sur les performances des systèmes airlift utilisés en tant que systèmes de pompage, dans le cadre d'applications variées, tant chimiques que biologiques. Les paramètres géométriques qui ont été étudiés dans la littérature se concentrent généralement sur la forme de la colonne (qu'elle soit conique, à élargissement brusque, droite), sur l'effet du diamètre et rarement sur l'effet de la longueur de la colonne.

Le fonctionnement ainsi que les performances d'un système de pompage de type airlift sont fortement influencés par la géométrie de la colonne associée. À cet égard, l'analyse de la littérature révèle quatre configurations majeures. Bien que la forme de la colonne droite soit la plus répandue et couramment employée, d'autres configurations ont néanmoins suscité l'intérêt de la communauté scientifique et fait l'objet de quelques études et recherches.

I.4.1 Colonne de forme ordinaire (droite)

Le type ordinaire correspond au modèle le plus simple de système de pompage de type airlift dans lequel la colonne (riser) possède une section transversale constante sur l'intégralité de sa longueur. Les différentes parties d'une telle configuration sont schématiquement représentées à la Figure I.2.

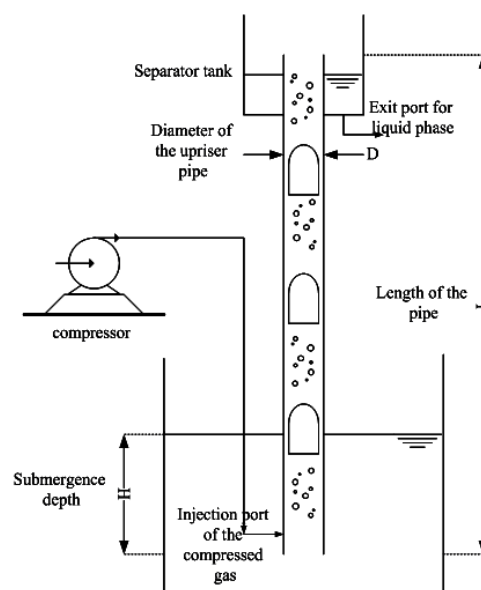


Figure I.2 : Schéma d'un système de pompage airlift avec colonne ordinaire

Dans la littérature scientifique, la plupart des travaux réalisés sur les systèmes airlift se concentrent sur les systèmes ordinaires. Ces systèmes ont suscité un grand intérêt et ont été l'objet de nombreuses études approfondies. Les chercheurs se sont penchés sur divers aspects tels que l'effet de la hauteur de plongée, les techniques d'injection utilisées, ainsi que l'impact des propriétés de la phase liquide sur les performances des systèmes airlift ordinaires. Ces travaux ont été abordés et rapportés par différents auteurs, parmi lesquels on peut citer Kassab et al. (2001, 2009, 2022), Hanafizadah et al. (2011a, 2011c); Tighzert et al. (2013); et Ahmed et al. (2012, 2016); De Cachard et Delhaye(1996).

I.4.2 Forme à élargissement brusque

Cette configuration se compose d'une colonne séparée en deux parties par un élargissement brusque à une position déterminée (figure I.3). L'idée d'utiliser ce type de colonne a été initialement introduite par Kumar et al. (2003) et Fujimoto et al.,(2004). Par la suite, Hanafizadeh et al. (2010, 2011c) ont étudié de manière plus détaillée le fonctionnement de ce type de système de pompage et ont tenté d'expliquer pourquoi cette forme peut améliorer le fonctionnement du système et augmenter son rendement. Hanafizadeh et al. (2010, 2011c) ont également proposé un rapport optimal entre la hauteur et le diamètre pour ce type de système de pompage. Une augmentation de la section transversale de la colonne peut stabiliser le régime à poches, et ainsi, le rendement sera amélioré de cette manière. Il serait aussi possible qu'en augmentant le diamètre de la colonne on peut retarder la transition du régime à poches vers un régime turbulent baratté. Il est évident que le deuxième diamètre après l'élargissement, lorsqu'il est très important, peut détruire les poches et avoir un impact négatif sur les performances. Par conséquent, il pourrait être conclu que le deuxième diamètre après l'élargissement a également une valeur optimale qui peut maintenir l'écoulement en régime à poches.

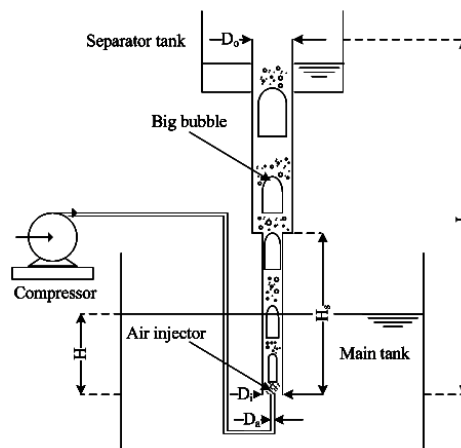


Figure I.3 : Schéma d'un système de pompage airlift avec colonne à élargissement brusque

D'après les travaux expérimentaux de Tighzert et al. (2013) sur une colonne ordinaire de 3 mètres de longueur et 33 mm de diamètre, le régime à poches change de configuration le long de la colonne; les poches s'allongent en se déplaçant, de ce fait, la position du point d'élargissement peut jouer un rôle. Il serait peut-être utile d'opter pour une position de transition de régime. Ainsi, le régime sera maintenu plus longtemps.

Dans leurs travaux expérimentaux, Ouamara et Belhadj (2017) ont examiné un système de pompage airlift non-ordinaire comportant un élargissement brusque au milieu de la colonne, avec un rapport de diamètre de 33/64. Les paramètres étudiés comprenaient le débit de la phase liquide, le débit minimum d'injection, le taux de vide et la hauteur de plongée variée sur gamme allant de 0,4 à 0,9. Le rendement, l'efficacité et le rapport de glissement ont été calculés, et les résultats ont été comparés à ceux d'un système airlift ordinaire de diamètre 33 mm.

Les résultats de cette étude ont mis en évidence que la modification géométrique influe sur la structure de l'écoulement, avec l'observation des régimes à bulles et turbulents barattés dans les deux parties de la colonne, tandis que le régime à poches n'a pas été observé dans la partie supérieure de diamètre 64 mm. Une diminution significative du débit de la phase liquide a été constatée dans le système non-ordinaire de cette étude. Le fonctionnement optimal a été visuellement associé au régime à poches et à la transition vers le régime turbulents barattés avant le point de l'élargissement brusque. C'est-à-dire, dans la moitié inférieure de la colonne. En termes de performances, le rendement obtenu avec le système ordinaire était supérieur à celui obtenu avec cette modification géométrique.

Cette diminution de performance peut être attribuée à l'absence du régime à poches dans la partie aval de la colonne et éventuellement aux pertes de charge liées à la singularité introduite par l'élargissement brusque. De plus, la comparaison du taux de vide global entre le système non-ordinaire de cette étude et le système ordinaire a démontré que la déformation géométrique réalisée au milieu de la colonne n'avait aucun effet sur l'évolution du taux de vide global.

Goharzadeh et Fernandes (2014) ont réalisé une étude expérimentale visant à comparer les performances d'un système de pompage airlift ordinaire (avec un diamètre constant de 19 mm) à celles d'un système comportant une brusque expansion de diamètre

de 19 à 32 mm. Les chercheurs ont sélectionné deux hauteurs de plongée (0,58 et 0,74) pour mener leurs expériences. Les résultats ont révélé que les trois régimes d'écoulement, à savoir le régime à poches, le turbulent baratté et le régime annulaire, étaient présents dans les deux configurations étudiées. Cependant, l'expansion soudaine du diamètre a été observée pour avoir un impact sur la structure de l'écoulement, notamment au niveau des débits correspondant aux transitions de régimes dans la colonne ordinaire.

L'expansion brusque du diamètre dans le second système a induit de la turbulence dans la colonne, favorisant ainsi la transition du régime à poches vers le régime turbulent baratté, ainsi qu'une nouvelle transition du régime annulaire vers le régime turbulent baratté. Cette perturbation de la structure du régime annulaire déjà établi dans la colonne est due à la déformation géométrique engendrée par l'expansion, entraînant ainsi la formation du régime turbulent.

En ce qui concerne le débit de la phase liquide, les auteurs ont constaté, dans la même étude, que pour les deux hauteurs de plongée considérées, dans une plage de vitesses superficielles air comprimé, allant jusqu'à $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit de la phase liquide dans le système ordinaire est supérieur à celui du système avec expansion brusque. Au-delà de cette plage, la tendance s'inverse et le débit du système avec expansion brusque devient supérieur.

Les auteurs ont expliqué ces résultats en soulignant que le long de la colonne avec expansion brusque, la déformation géométrique conduit à l'effondrement de la structure de l'écoulement. De plus, la transition du régime annulaire vers le régime turbulent baratté, étant donné que ce dernier est plus efficace pour le transport ascendant de la phase liquide, contribue également à ces observations.

I.4.3 Colonne de forme conique

Kumar et al. (2003) ont présenté une étude expérimentale visant à améliorer les performances d'un système de pompage de type airlift équipé d'une colonne verticale de forme conique. Les auteurs ont examiné l'influence de différents paramètres de conception géométrique, tels que la taille et l'angle de conicité (0° , $0,5^\circ$ et 1°), de la colonne, pour différentes hauteurs de plongée en variant le débit de la phase gazeuse (figure I.4). Ils ont également analysé les effets négatifs du gradient de pression (augmentation de la surface dans le sens de l'écoulement) dans le tube ascendant conique

sur les transitions de régime d'écoulement diphasique, en particulier son impact sur le régime à poches.

Il a été constaté que la colonne de forme conique avec un angle de conicité plus petit améliore davantage les performances du système de pompage airlift. Dans ce cas, le débit de la phase liquide est plus sensible au débit d'air par rapport à une colonne uniforme. L'implémentation pratique d'un système de pompage avec une colonne de forme conique peut être réalisée en utilisant des tronçons de colonnes étagés avec des gammes de tailles successives, mais avec des diamètres plus petits, où une meilleure performance est observée. De plus, il a été constaté que la hauteur des poches est plus faible dans le cas d'une colonne de forme conique par rapport à une colonne de forme uniforme.

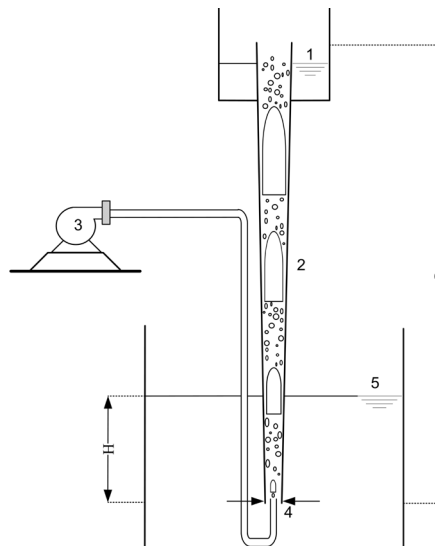


Figure I.4 : Schéma d'un système de pompage airlift avec colonne de forme conique

Zakari et al. (2016) ont entrepris une étude expérimentale visant à explorer les possibilités d'améliorer les performances d'un système de pompage en utilisant une colonne de forme conique. Les expériences ont été menées sur un dispositif de système airlift, dont une représentation schématique est présentée sur la figure (I.5). La colonne du dispositif est transparente et mesure 6 mètres de hauteur, avec un angle de conicité de $0,67^\circ$ et des diamètres d'entrée et de sortie respectifs de 60 mm et 200 mm. Les mesures, notamment du débit de la phase liquide, ont été effectuées à deux hauteurs de plongée différentes, à savoir 0,55 et 0,82. Une comparaison a été réalisée avec un système ordinaire.

Les résultats ont révélé que l'utilisation d'une colonne conique plutôt qu'une colonne de diamètre constant avait un effet significatif sur l'efficacité du pompage, ce qui s'est traduit par une augmentation de la quantité de liquide soulevée par rapport au système à diamètre constant. De plus, les auteurs ont observé qu'il existe une valeur optimale de la hauteur de plongée permettant d'obtenir un débit maximal de la phase liquide. Dans le cas d'une colonne conique, cette valeur était inférieure à celle correspondant à une colonne de diamètre constant. Selon les auteurs, l'utilisation d'une colonne conique influence le régime d'écoulement. En effet, la forme conique favorise le maintien du régime à poche pendant une plus longue durée, un régime qui est bénéfique pour la fonction de pompage.

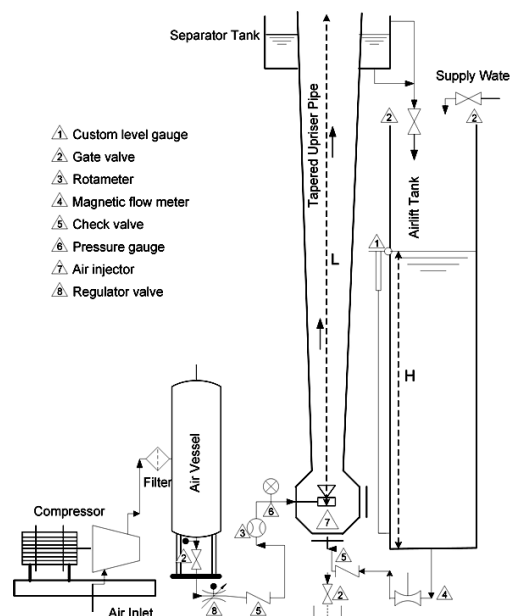


Figure I.5 : Schéma du dispositif expérimental utilisé par Zakari et al. (2016)

1.4.4 Colonne en forme de S

Mahrous (2013a) a mené une recherche expérimentale sur un système airlift muni d'une colonne avec une déformation en forme de S à une position donnée de la colonne. Dans cette recherche il étudie les effets des déformations locales de la colonne sur les performances du system airlift. Une série d'expériences a été réalisée avec différentes configurations de la colonne, basées sur différentes positions de la déformation. Bien qu'une légère amélioration du débit de pompage puisse être obtenue en plaçant la section du coude en forme de S du tube montant à proximité du niveau d'injection d'air, l'effet de

la position de la section de coude du tube montant a une contribution insignifiante aux améliorations du fonctionnement du système.

Dans une autre étude, le même auteur, Mahrous (2013b, 2014) a mené une étude numérique sur l'effet d'un élargissement graduel de la colonne en aval de la zone de l'injection du gaz. L'auteur appuie le choix de cette déformation par le fait que le régime annulaire peut être éliminé ou du moins retarder son apparition quand on augmente de le débit de la phase gazeuse. L'auteur rapporte que le modèle numérique établi dans cette étude a été vérifié et confronté aux résultats expérimentaux disponibles. L'auteur a conclu qu'une telle déformation géométrique améliore les performances du système de pompage. Le rendement est d'autant plus amélioré que l'angle d'élargissement est important.

I.4.5 Effet de la longueur de la colonne

L'étude expérimentale réalisée par Kassab et al. (2001) a exploré l'impact de la longueur de la colonne sur les performances d'un système de pompage de type airlift. Le dispositif expérimental utilisé par ces chercheurs est composé d'une colonne principale mesurant 3,75 mètres de long. La colonne est divisée en trois tronçons afin de permettre la variation de la hauteur du système. Une large gamme de hauteurs de plongée, allant de 0,4 à 0,75, a été étudiée en ajustant la hauteur de la colonne.

Pour chaque hauteur de plongée donnée, les chercheurs ont mesuré le débit massique de la phase liquide pour trois longueurs de colonne distinctes, à savoir 175 cm, 275 cm et 375 cm. Les résultats ont révélé une corrélation positive entre la longueur de la colonne et le débit de la phase liquide. En d'autres termes, à mesure que la longueur de la colonne augmentait, le débit de la phase liquide augmentait également. Une tendance similaire a été observée en ce qui concerne le rendement du système. En conclusion, cette étude démontre que, pour une hauteur de plongée fixe, la variation de la longueur de la colonne a un impact significatif sur les performances du système airlift. Une augmentation de la longueur de la colonne se traduit par une amélioration du débit de la phase liquide et du rendement global du système.

I.4.6 Effet du diamètre

Dans l'étude expérimentale réalisée par Reninmann, (1987) ; Reninmann al.,(1990) sur les systèmes airlift à faible diamètre, il a été conclu que l'effet du diamètre sur le système airlift est significatif, en particulier lorsque le diamètre du tube est inférieur à 20 mm. Les effets de la tension superficielle sur la dynamique de l'écoulement des bulles

deviennent de plus en plus importants à mesure que le diamètre diminue. Les résultats de l'étude ont démontré une augmentation du rendement dans la plage de diamètres de tube allant de 3 à 20 mm.

Dans leur étude comparative des régimes d'écoulement entre un diamètre de 19 mm et une référence de diamètre de 25 mm, Goharzadeh et Fernandes (2014) expliquent la différence observée dans la structure de l'écoulement. Ils soulignent que, dans les faibles diamètres, la coalescence des bulles se produit rapidement et que l'établissement des régimes à poches, voire annulaires, se produit à des vitesses superficielles relativement faibles. Cette conclusion a été obtenue en utilisant une carte d'écoulement qui permet de visualiser les régimes d'écoulement dans les différents diamètres étudiés.

II. Chapitre II

Dispositif expérimental et technique de mesures

Dans cette partie, nous présentons l'installation expérimentale ainsi que les différentes techniques de mesures utilisées.

III.1 Présentation de l'installation

Le présent travail est réalisé au niveau du laboratoire d'Hydrodynamique à l'université Abderrahmane Mira de Bejaïa. Le dispositif expérimental en place consiste au préalable en un système de pompage de type airlift dit « ordinaire ». C'est-à-dire un système composé d'une colonne de diamètre uniforme (33 mm). Pour répondre aux objectifs fixés dans cette étude, nous avons procédé à la modification de la colonne pour en faire un système non-ordinaire, comportant un élargissement brusque. Le dispositif expérimental est schématisé sur la figure (III.1).

Le dispositif expérimental utilisé a dû répondre à deux critères, à savoir la possibilité de visualiser l'écoulement et la possibilité de pouvoir varier à notre gré la hauteur de plongée. Le dispositif est monté sur une structure métallique rigide fixée par des chevilles au sol et au plafond. L'ensemble des éléments qui le constituent sont détaillés ci-après comme suit :

a. Colonne (riser)

C'est une colonne verticale d'une longueur totale de 3 m (comptée à partir du disperseur jusqu'au séparateur de phases) d'une forme cylindrique en plexiglas dont la transparence permet la visualisation de l'écoulement. Elle est composée de deux tubes de diamètres différents (33mm et 64 mm). Les deux tubes sont reliés entre eux par des pièces en téflon ; ces pièces comportent un diamètre d'entrée permettant l'insertion du tube de 33 mm et un diamètre de sortie permettant l'insertion du tube de 64 mm. C'est une jonction en téflon qui se présente sous forme d'un élargissement brusque placé au milieu de la colonne (voir figure III.2).

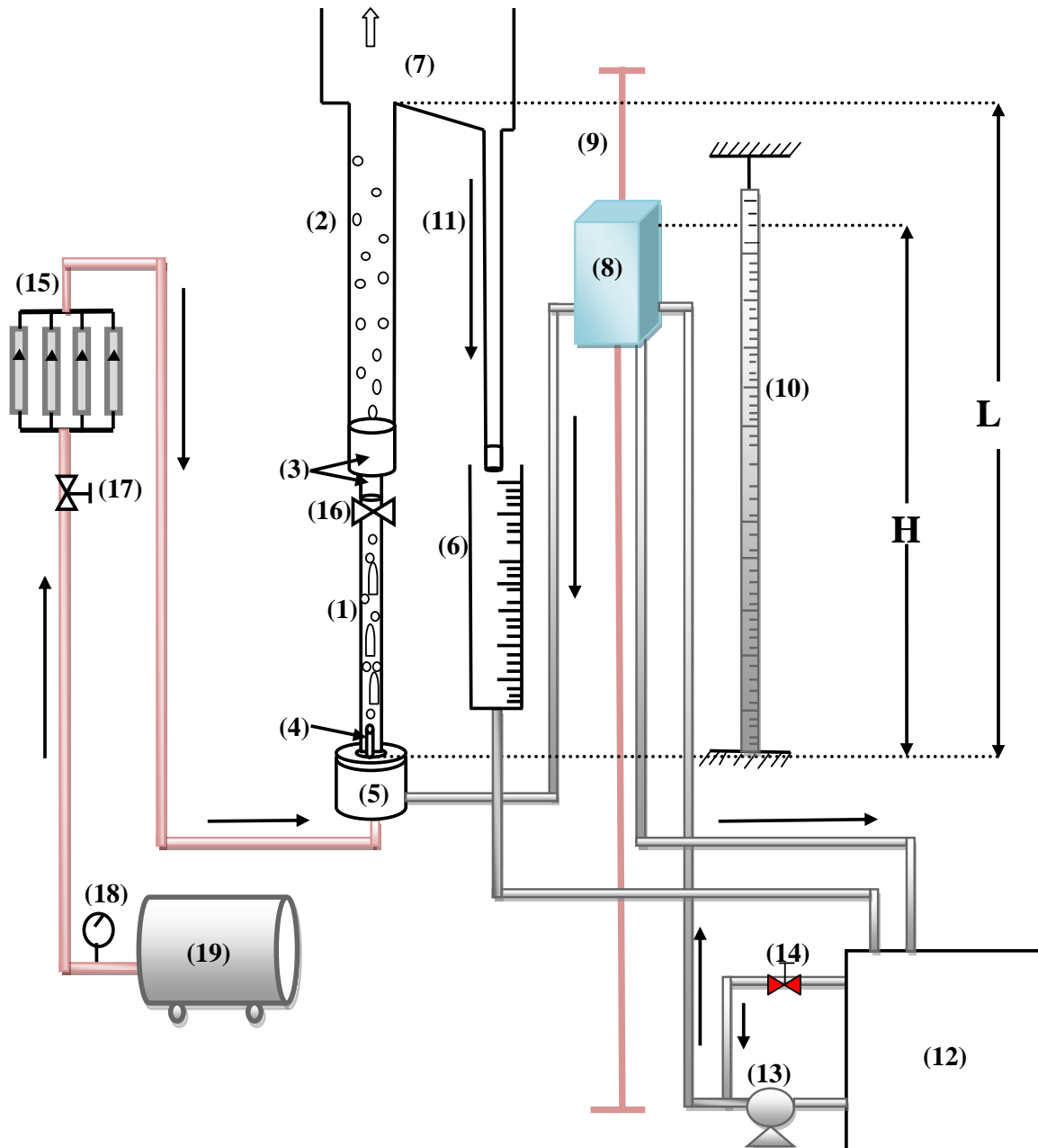


Figure III.1 : Schéma de l'installation expérimental.

(1): Tube (33mm) ; (2): Tube (64mm) ; (3): Elargissement brusque ; (4): Disperser ; (5): Section de transit ; (6): Bac gradué ; (7): Séparateur de phases ; (8): Bac coulissant ; (9): Support ; (10): Règle graduée ; (11): Downcomer ; (12): Réservoir d'eau ; (13): Pompe à eau ; (14): By pass ; (15): Débitmètres à air ; (16): Vanne du taux de vide ; (17): Vanne à air ; (18): Régulateur de pression ; (19): Compresseur.

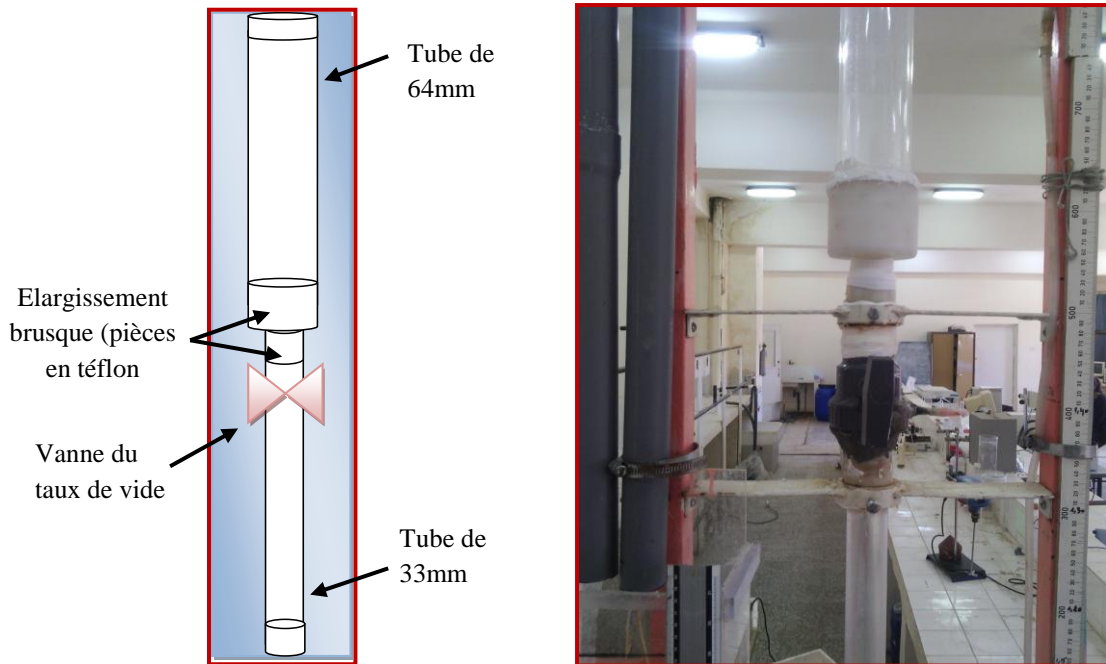


Figure III.2 : Colonne (riser) du dispositif expérimental

b. Vannes du taux de vide

La mesure du taux de vide global par la technique de vanne à fermeture rapide consiste à fermer simultanément et instantanément la vanne d'alimentation en air (17) et la vanne installée au milieu de la colonne (16). Les deux vannes se ferment à demi-tour (voir figure III.1 et Figure III.3).

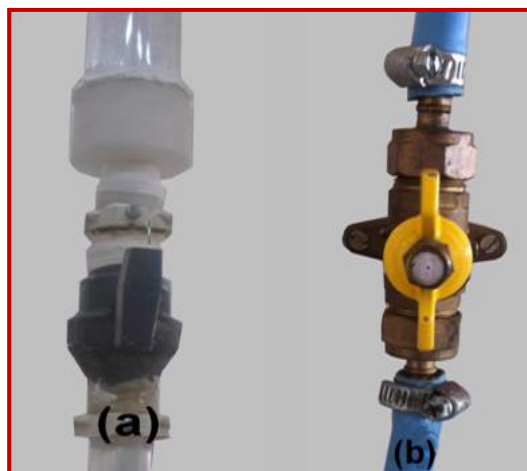


Figure III.3: Vannes du taux de vide

(a): Vanne coupant l'écoulement diphasique ; (b): Vanne coupant l'alimentation en air

c. Section de transit

C'est un dispositif cylindrique en téflon de diamètre extérieur 12 mm et un diamètre intérieur 10 mm installé sur le support de la structure métallique sur laquelle la colonne est montée (figure III.5). C'est une pièce qui sert de transit pour la phase liquide lors de remplissage de la colonne. Il se compose de trois entrées dont les deux premières sont conçues pour alimenter la colonne en phase liquide provenant du bac coulissant et la troisième, située à la base, sert à alimenter la colonne en air provenant du compresseur à travers le disperseur. Une sortie est conçue pour la vidange de la colonne et son nettoyage.

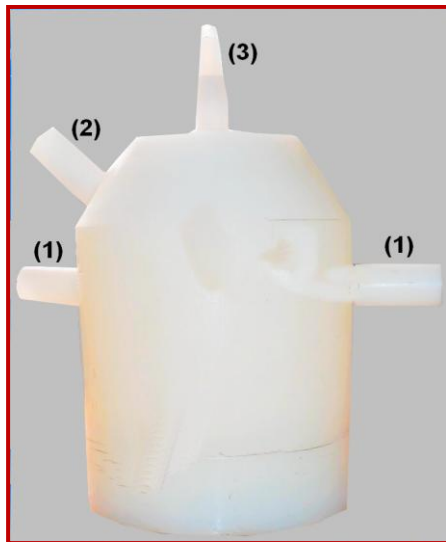


Figure III.4 : Section de transit.

(1) : Alimentation en phase liquide ; (2) : Vidange ; (3) : Alimentation en air

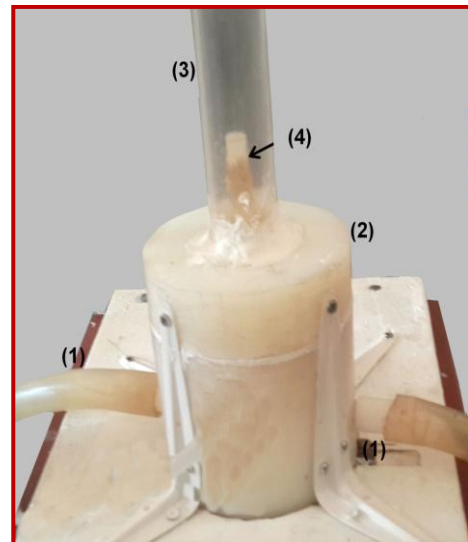


Figure III.5 : Emplacement de la section de transit.

(1): Alimentation en phase liquide ; (2) : Section de transit ; (3) : Colonne ; (4) : Disperseur

d. Disperseur

C'est un tube cylindrique en téflon de 10 mm de diamètre et 22 cm de longueur, placé au fond de la section de transit et relié au compresseur par un tuyau à gaz. L'extrémité du tube est fermée et sur sa surface latérale on a réalisé 54 trous de 1 mm de diamètre moyen. Le même disperseur a été utilisé par Saidi et Yahiaoui (2016) dont les résultats seront utilisés pour la comparaison avec la présente étude (figure III.6).



Figure III.6: Disperseur utilisé dans la présente étude.

e. Séparateur de phases

C'est un bac parallélépipédique transparent, fabriqué en plexiglas, disposé à la sortie de la colonne où les deux phases se séparent avec l'évacuation de l'air vers l'extérieur. Il est doté d'un fond incliné pour éviter l'entraînement du liquide vers l'extérieur et pour faciliter le drainage du liquide à travers un tube (downcomer) qui l'achemine au bac conçu pour la mesure du débit de la phase liquide (Figure III.7).



Figure III.7: Séparateur de phases

f. Downcomer

C'est le tube lié au séparateur de phases qui permet de récupérer la phase liquide (11). Le sens de l'écoulement dans cet élément est vers le bas.

g. Bac coulissant

C'est un bac de forme parallélépipédique, fabriqué en zinc et utilisé pour varier la hauteur de plongée. Le bac est fixé sur une tige métallique verticale sur la structure d'une façon parallèle à une règle graduée (10). La variation de la hauteur de plongée se fait par le glissement du bac à la position choisie. La colonne se remplit au même niveau que cette position. Le bac dispose d'une entrée pour son alimentation en phase liquide et deux sorties pour alimenter la section de transit et la colonne. Le niveau du liquide dans la colonne est contrôlé et ajusté par un indicateur de niveau qui accompagne le bac coulissant. Pour immobiliser le bac un système de fixation est attaché à la tige métallique (voir figure III.8)

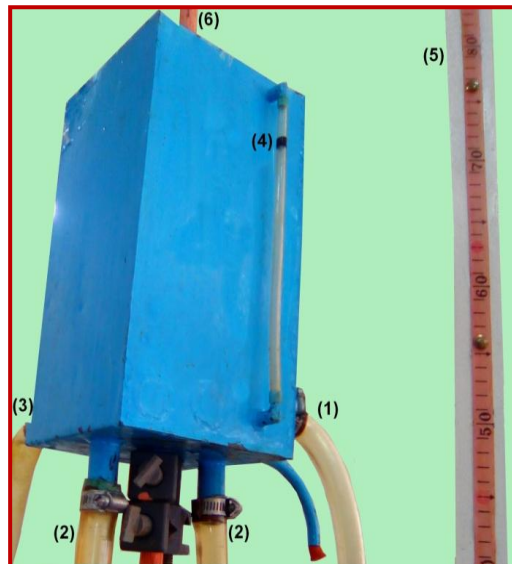


Figure III.8 : Bac coulissant

(1) : Alimentation de bac coulissant ; (2) : Alimentation de la colonne ; (3) : Evacuation de l'excès du liquide ; (4) : Indicateur de niveau ; (5) : Règle graduée ; (6) : Tige servant comme support.

h. Alimentation en phase liquide

Une pompe aspire de l'eau à partir d'un réservoir. L'eau est refoulée à travers des conduites jusqu'au bac coulissant et l'envoie vers la section de transit (5). A la sortie de la pompe un by pass (14) est installé pour éviter à un éventuel excès de débit d'alimentation. Au niveau du bac coulissant, une sortie est prévue pour le renvoi de l'eau au réservoir sous forme de trop-plein. L'eau circule en boucle, traversant le riser

jusqu'au séparateur de phases et le downcomer pour finir dans le réservoir du départ de sorte à ce qu'elle forme un circuit fermé.

i. Alimentation en air

Elle se fait par le biais d'un compresseur à air de marque Iuowei, ayant une capacité de 100 litres et une pression maximale de 8 bars. Le compresseur est muni d'un manomètre permettant de manipuler facilement la pression opératoire. Durant nos expériences la pression d'injection a été variée de 1,2 à 2,5 bars. L'air sortant du compresseur est acheminé à travers un tuyau à gaz, traversant quatre débitmètres pour alimenter le disperseur. Nous avons veillé à ce que la conduite à air soit au-dessus du séparateur de phases afin d'éviter le retour d'eau au compresseur.

j. Débitmètres à air

Quatre débitmètres à flotteurs de type Krohne sont installés en parallèle. Le débit total d'air qui alimente la colonne est contrôlé par ces quatre débitmètres en faisant la somme des valeurs affichées par chaque débitmètre.



Figure III.9 : Débitmètres à air placés en parallèle

k. Hauteur de plongée

C'est la fraction immergée de la colonne. La hauteur de plongée est donnée par le rapport (H) à la longueur totale (L). La variation de ce paramètre est réalisée par la variation de la position du bac coulissant sur la tige verticale.

III.2 Principe de fonctionnement de l'installation

La première étape consiste à allumer la pompe (13). L'eau commence à remplir la colonne jusqu'au niveau de la hauteur de plongée fixée par la hauteur du bac coulissant (8) (principe de vase communications). Dans ce travail la pompe permet seulement de remplir la colonne et d'assurer un fonctionnement en continu. Une fois la colonne est remplie jusqu' à la hauteur statique désirée, la phase liquide reste stagnante et aucun écoulement ne se produit dans la colonne puisque nous n'avons pas encore injecté de l'air. L'excès l'eau dans le bac coulissant est renvoyé à travers une conduite vers le réservoir principal. L'étape suivante est la mise en marche du compresseur. Une fois le compresseur (19) est chargé on fixe la pression d'injection d'air et on ajuste le débit avec les quatre débitmètres à gaz (15). A partir d'un certain débit d'air, on obtient un écoulement diphasique qui se développe le long de la colonne jusqu'à l'entraînement de la phase liquide. L'augmentation du débit d'air en fonction de la hauteur de plongée fait que l'écoulement diphasique atteint le séparateur de phases et que la phase liquide y est entraînée et peut être récupérée. C'est à ce niveau qu'on parle de la fonction du pompage avec la possibilité de mesurer le débit son débit. Au cours du fonctionnement, il faut s'assurer que la quantité débitée par la pompe soit suffisamment supérieure à celle recueillie dans le bac gradué (6). Pour éviter tout débordement ou débit insuffisant au niveau du bac coulissant un by-pass est placé à la sortie de la pompe permettant une meilleure alimentation en liquide.

Pendant nos expériences, nous avons mesuré le débit minimum d'air injection, le débit de la phase liquide, le taux de vide global et on a procédé à la caractérisation visuellement des régimes d'écoulement pour différentes hauteurs de plongées.

III.3 Techniques de mesures

III.3.1 Mesure du débit minimum d'injection

Le débit minimum d'injection consiste à déterminer le débit d'air qui correspond à l'arrivée des premières gouttes au bac gradué. Les débits sont mesurés pour une gamme de la hauteur de plongée variée de 0,3 jusqu'à 0,9.

III.3.2 Mesure du débit de la phase liquide

C'est la quantité d'eau entraînée à travers la colonne par unité de temps. Pour cette mesure nous avons utilisé un bac gradué (6) relié au downcomer. Le bac a une capacité assez large pour couvrir le maximum du débit d'air.

$$Q_l = \frac{V}{t} \quad (\text{III.1})$$

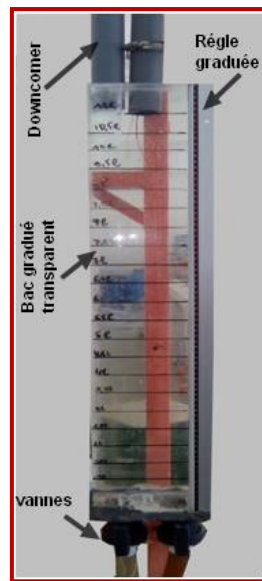


Figure III.10 : Bac gradué pour la mesure du débit

III.3.3 Mesure du taux de vide

Pour la mesure du taux de vide global, on a utilisé la technique de vanne à fermeture rapide. En raison de sa disponibilité et vue la fiabilité rapportée dans la littérature (Kawanishi et al. (1990) ; Yijun et Rezkallah, (1993) (cités par Ghajar et Bagawat, 2012). Cette technique de vanne à fermeture rapide consiste donc à fermer les deux vannes (a) et (b) (figure III.3) simultanément. A l'instant qui suit la fermeture des deux vannes, le volume retenu dans la colonne en amont est noté. La mesure du taux de vide a concerné uniquement la partie inférieure de la colonne (en amont).

Comme le taux de vide correspond à la fraction volumique de la phase gazeuse dans le mélange diphasique à l'intérieur de la colonne, on a mesuré d'abord la fraction

liquide puis on déduit la fraction du gaz dans le mélange en la calculant par la relation suivante :

$$\varepsilon = 1 - \frac{H_l}{H_m} \quad (\text{III.2})$$

H_l : Hauteur de la phase liquide (hauteur notée après la fermeture des deux vannes).

H_m : Hauteur mouillée (hauteur occupée par le mélange diphasique).

III.4 Caractérisation visuelle

Pendant nos expériences, nous avons caractérisé visuellement les régimes de l'écoulement pour chaque hauteur de plongée et chaque débit d'air. Cette observation visuelle est menée par des photographies et des vidéos.

III.5 Contraintes expérimentales

- ❖ Pour ne pas courir le risque d'endommager le dispositif et aussi en raison des problèmes de débordement, nous avons opté pour une gamme de débit d'air variée de 50 à 5000 l/h.
- ❖ En raison de non la disponibilité des fluides, il n'a été possible que d'étudier le cas de la phase liquide eau dans la présente étude.
- ❖ Pour la caractérisation des régimes il aurait fallu utiliser une caméra ultra rapide pour une qualité meilleure. Les appareils standards utilisés nous ont fourni uniquement des images et des vidéos de faible qualité insuffisante pour l'analyse.



Figure III.11: Photographie de l'installation expérimentale utilisée

III. Chapitre III

Résultats et discussions

Dans ce chapitre nous présentons l'ensemble de nos résultats et discussions obtenus avec un système de pompage airlift non-ordinaire tel qu'il a été présenté dans le chapitre II. Nous rappelons que la déformation géométrique dans notre cas consiste en un élargissement brusque réalisé au milieu de la colonne avec un rapport de diamètre avoisinant 2, soit 64/33.

Dans la suite de cette partie, il s'agira de présenter l'évolution du débit de la phase liquide, le rendement, l'analyse du taux de vide global et sa confrontation avec le modèle à écart de vitesses (*drift flux model*), l'efficacité ainsi que le rapport de glissement pour diverses hauteurs de plongée. L'ensemble de ces résultats seront discutés et confrontés à un système ordinaire approprié à la comparaison. Il s'agit des résultats de Saidi et Yahiaoui (2016) issus d'un travail expérimental réalisé avec le même dispositif de la présente étude mais avec une colonne à diamètre constant (33 mm). L'ensemble des mesures ont été effectuées dans les mêmes conditions opératoires (hauteur de plongée, disperseur, bac coulissant, pompe, vannes, bac du débit de la phase liquide, débitmètres à air... etc.).

IV.1 Caractérisation des régimes d'écoulement

En vue de caractériser les régimes de l'écoulement, au cours de l'ensemble des expériences nous avons suivi visuellement l'écoulement diphasique obtenu le long de la colonne. Nous avons également procédé à la prise de plusieurs photographies et plusieurs vidéos. Ceci nous a permis de constater que la structure de l'écoulement est affectée par la modification géométrique introduite au milieu de la colonne sous forme d'un élargissement brusque. Les structures de l'écoulement sont nettement différentes dans la partie inférieure (33 mm) et la partie supérieure de la colonne (64 mm). Dans la partie inférieure, trois régimes ont été observés : le régime à bulles, le régime à poches et le turbulent baratté avec les transitions qui leur sont associées. Il est important de dire que nous avons noté l'absence du régime à poches dans la partie supérieure (64 mm).

a. Régime à bulles

Pour cette partie de la colonne, le régime à bulles apparaît à de faibles débits d'air et ceci pour toutes les hauteurs de plongées. Mais il est à noter que ce régime apparaît d'autant plus tôt que la hauteur de plongée augmente. A titre d'exemple, aux

hauteurs de plongée $H_p = 0,4$ et $0,8$ le régime à bulles apparaît à des débits d'air égaux respectivement à 150 et 200 l/h .

Pendant la visualisation de ce régime (voir la figure IV.1), on a constaté que ce régime change d'aspect et se développe le long de la moitié de la colonne. Au fur et à mesure que les bulles s'éloignent du disperser elles entrent en collision et le phénomène de la coalescence fait que des petites poches aux contours irréguliers commencent à se former avec de petites bulles dispersées toujours dans le bouchon liquide : c'est la transition vers le régime à poches. A la traversée de la jonction de l'élargissement brusque, nous avons constaté que la structure de l'écoulement change. Quoique le régime à bulles soit toujours là, son aspect diffère de celui en amont. En effet, la dispersion des bulles devient plus dense et plus fine.

Il est à noter que la transition est observée sur une gamme du débit d'air allant de 200 jusqu'à 400 l/h pour les hauteurs de plongées $H_p = 0,4 ; 0,6$ et $0,8$.



Moitié supérieure de la colonne
en amont (**33 mm**)



Moitié inférieure de la
colonne (**64 mm**)

Figure IV.1 : Photographie de la visualisation du régime à bulles

b. Régime à poches

Dans la moitié inférieure de la colonne ($D = 33 \text{ mm}$), c'est-à-dire celle qui précède l'élargissement brusque, avec l'augmentation de débit d'air, la coalescence s'accroît et favorise la formation des poches. Les poches sont de géométrie relativement régulière. Elles se caractérisent par une forme de calotte sphérique en aval et une queue plus au moins aplatie en amont. Cette dernière est siège d'une zone tourbillonnaire, formant un sillage qui suit cette poche long de son déplacement vers le haut. Entre la paroi et la poche un film liquide s'écoule vers le bas. Nous avons remarqué que la taille des poches dépend du débit d'air. Les poches s'allongent et s'élargissent avec l'augmentation du débit d'air jusqu'à ce qu'elles occupent presque la totalité du diamètre de la colonne. Concernant l'effet de la hauteur de plongée, il nous est apparu que les dimensions des poches deviennent plus importantes avec la diminution de la hauteur de plongée. Nous avons constaté que les poches les plus longues correspondent aux hauteurs de plongée les plus faibles.

A la traversée de la jonction de l'élargissement brusque (3), la structure de l'écoulement change. Les poches formées en amont se détruisent et le régime à poches disparaît pour donner naissance un régime à bulles finement dispersées. Le phénomène de coalescence moins accentué par rapport à la partie aval, fait apparaître de grosses bulles ayant une forme de calotte sphérique en aval et plates en amont appelées dans la littérature *les chapeaux de Taylor*. Ces grosses bulles dont les dimensions sont relativement loin du diamètre de la colonne se déplacent d'une façon presque ondulatoire.

L'augmentation du débit d'air fait que les chapeaux de Taylor tentent se transformer en poches. Mais La formation des poches n'aboutit pas. Les pseudo-poches formées sont de géométries irrégulièrement différentes à celles qu'on a définies dans le cas de moitié inférieure. Le régime à poches ne s'établit pas donc. Nous avons constaté que quelque soit le débit d'air, leur dimensions restent relativement faible, ne dépassant pas 10 cm environ et sans aucune régularité. En outre, nous avons constaté que ces poches sont, sporadiques, instables et sont éloignées les unes des autres d'une façon assez considérable. L'espace entre elles est caractérisé par des bouchons liquides parsemés de bulles fines.

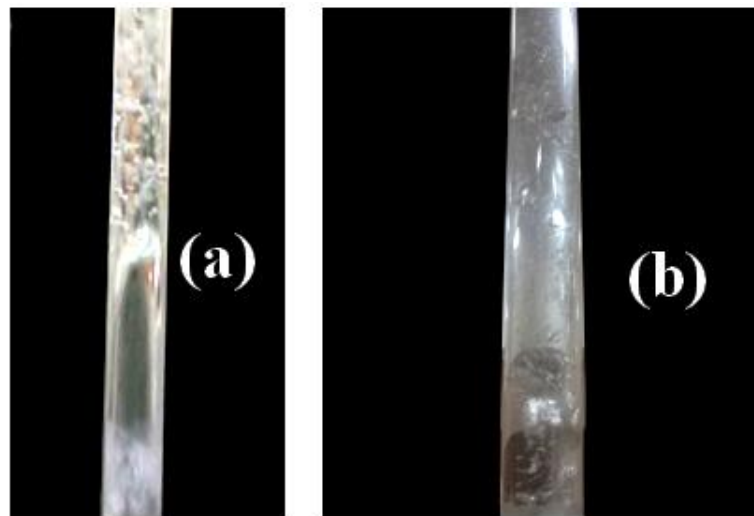


Figure IV.2 : Visualisation du régime à poches dans la moitié inférieure de la colonne

c. Régime turbulent baratté

Dans la partie inférieure de la colonne ($D = 33 \text{ mm}$) après l'établissement du régime à poches, l'augmentation du débit d'air détruit les poches et l'écoulement devient complètement désorganisé et aléatoire (figure IV.3-a). L'aspect aléatoire s'accroît au fur et à mesure que le débit d'air augmente. Dans la partie supérieure de la colonne (64 mm) le régime turbulent baratté se produit au même temps que la partie inférieure avec la même configuration et un aspect plus écumeux (figure IV.3-b).

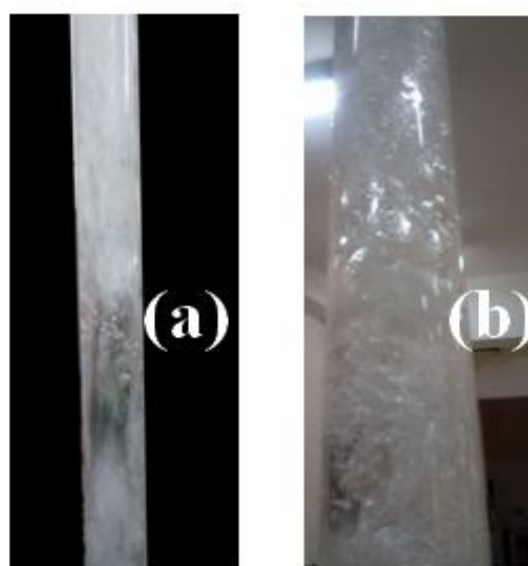


Figure IV.3 : Visualisation du régime turbulent baratté (a): En amont ; (b) : En aval

Remarque : le régime annulaire n'a pas été atteint. Il aurait fallu utiliser de très grands débits d'air ce qui risque d'endommager le dispositif.

IV.2 Débit de la phase liquide

IV.2.1 Analyse pour la hauteur de plongée $H_p = 0,7$

Sur la figure (IV.4) nous avons représenté l'évolution du débit de la phase liquide en fonction du débit d'air injecté pour la hauteur de plongée $H_p = 0,7$. La présente figure montre que l'évolution du débit de la phase liquide se fait suivant trois phases distinctes. La première phase (1) correspond à la gamme des débits d'injection d'air qui n'ont pas produit de pompage. Dans cette phase, la phase liquide n'atteint pas le séparateur de phases. La seconde (2), correspond à la gamme des débits d'air où le pompage a eu lieu. Dans cette étape, on constate que le débit de la phase liquide augmente d'une façon assez sensible avec le débit de la phase gazeuse. Nous avons constaté visuellement que cette phase est associée au régime à bulles et au régime à poches. A la troisième phase, le débit de la phase liquide continue de augmenter avec l'augmentation du débit d'air mais d'une façon moins sensible avec une tendance à se stabiliser.

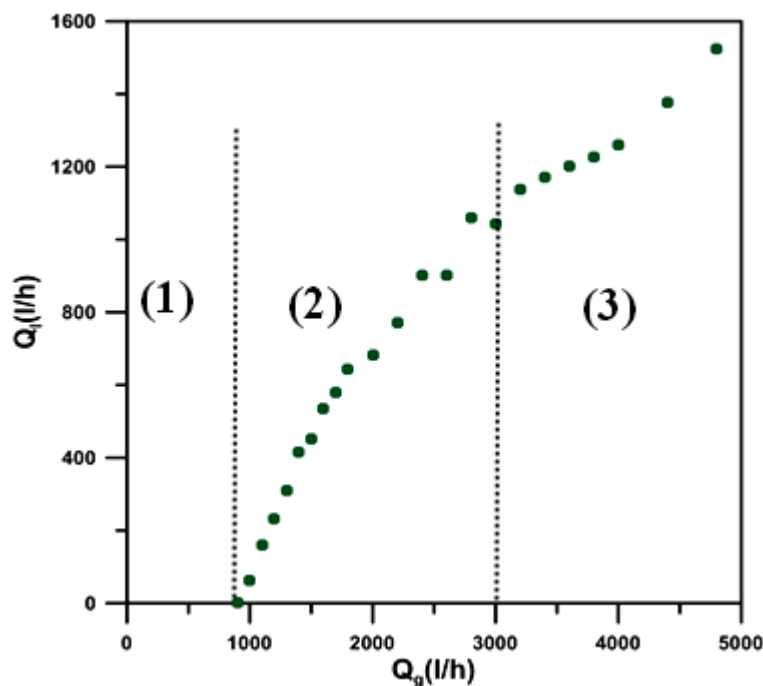


Figure IV.4: Evolution du débit de la phase liquide en fonction du débit de la phase gazeuse pour $H_p = 0,7$

IV.2.2 Reproductibilité des résultats

En vue de vérifier la reproductibilité de nos mesures expérimentales, nous avons procédé à plusieurs séries de mesures pour des hauteurs de plongées identiques. Sur la figure (IV.5), nous avons représenté les quatre séries de mesures du débit de la phase liquide obtenues avec la hauteur de plongée $H_p = 0,7$. La présente figure met globalement en clair la reproductibilité des résultats. Les valeurs sont presque identiques notamment pour la gamme des débits d'air faibles. Cependant, pour la gamme des débits d'air importants, quelques écarts insignifiants sont enregistrés. Ceci est dû au fait qu'à grands débits d'air, le bac (6) se remplit si rapidement que la mesure du débit (volume/temps) s'avère d'une certaine manière difficile par rapport au reste des mesures.

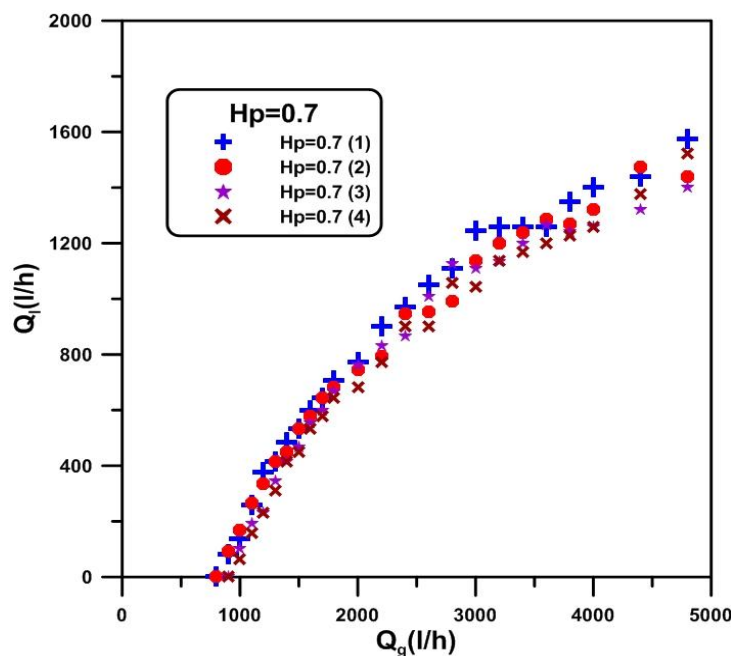


Figure IV.5: Reproductibilité des résultats expérimentaux pour $H_p = 0,7$

IV.2.3 Effet de la hauteur de plongée

Pour l'étude de l'effet de la hauteur de plongée nous avons représenté sur la figure (IV.6) l'évolution du débit de la phase liquide en fonction du débit d'air pour une gamme allant de $H_p = 0,4$ à $H_p = 0,9$. La figure montre qu'en plus de l'allure qui est similaire à celle de $H_p = 0,7$, la hauteur de plongée produit un effet positif sur le débit de la phase liquide. Plus la hauteur de plongée augmente, plus le débit de la phase liquide augmente. Le présent résultat concorde avec les travaux de la littérature (Kassab

et al., 2009 ; Hanafizadeh et al., 2011, Tighzert et al., 2013). Nous soulignons que des expériences ont été également effectuées pour des hauteurs de plongée inférieures à 0,4 cependant pour cette gamme, le pompage se produit à des débits d'air relativement très grands ($> 6000 \text{ l/h}$).

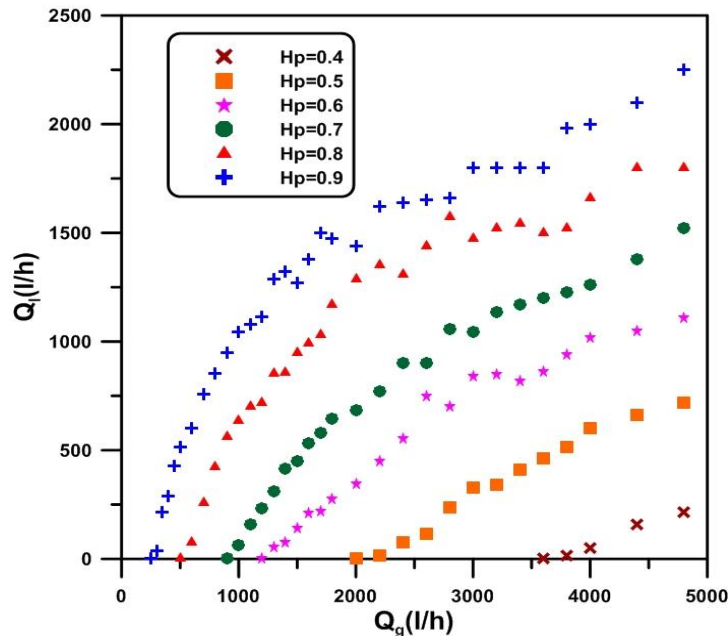


Figure IV.6 : Evolution du débit de la phase liquide en fonction du débit d'air pour diverses hauteurs de plongée

IV.2.4 Comparaison avec un système ordinaire

Il s'agit de confronter l'évolution du débit de la phase liquide obtenu dans la présente étude avec les résultats de Saidi et Yahiaoui (2016) obtenus avec un système ordinaire de diamètre uniforme (33 mm). Pour cela, pour les mêmes hauteurs de plongées (0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7) nous avons représenté sur la figure (IV.7) l'évolution de du débit de la phase liquide en fonction du débit d'air. On constate que les courbes des deux études ont des allures similaires : c'est-à-dire que le débit d'eau augmente avec l'augmentation du débit d'air d'une façon progressive avec les étapes que nous avons décrites précédemment. La différence est à noter au niveau de l'ordre de grandeur du débit. En effet, les quatre figures montrent que le débit obtenu avec le système ordinaire est nettement supérieur à celui obtenu dans la présente étude. Cette différence serait due à l'absence du régime à poches dans la partie supérieure de la colonne. A titre illustratif,

nous reproduisons dans le tableau (IV.1) quelques valeurs pour situer les ordres de grandeurs des études.

Tableau IV.1: Quelques valeurs illustratives pour la comparaison entre les deux systèmes

Q_g (l/h)	H_p	Q_l (l/h)	Résultats de Saidi et Yahiaoui Q_l (l/h)
4000	0,4	51.43	545.806
2000	0,5	0	490,909
1800	0,6	273,91	932,142
2800	0,7	1107,7	1311,111

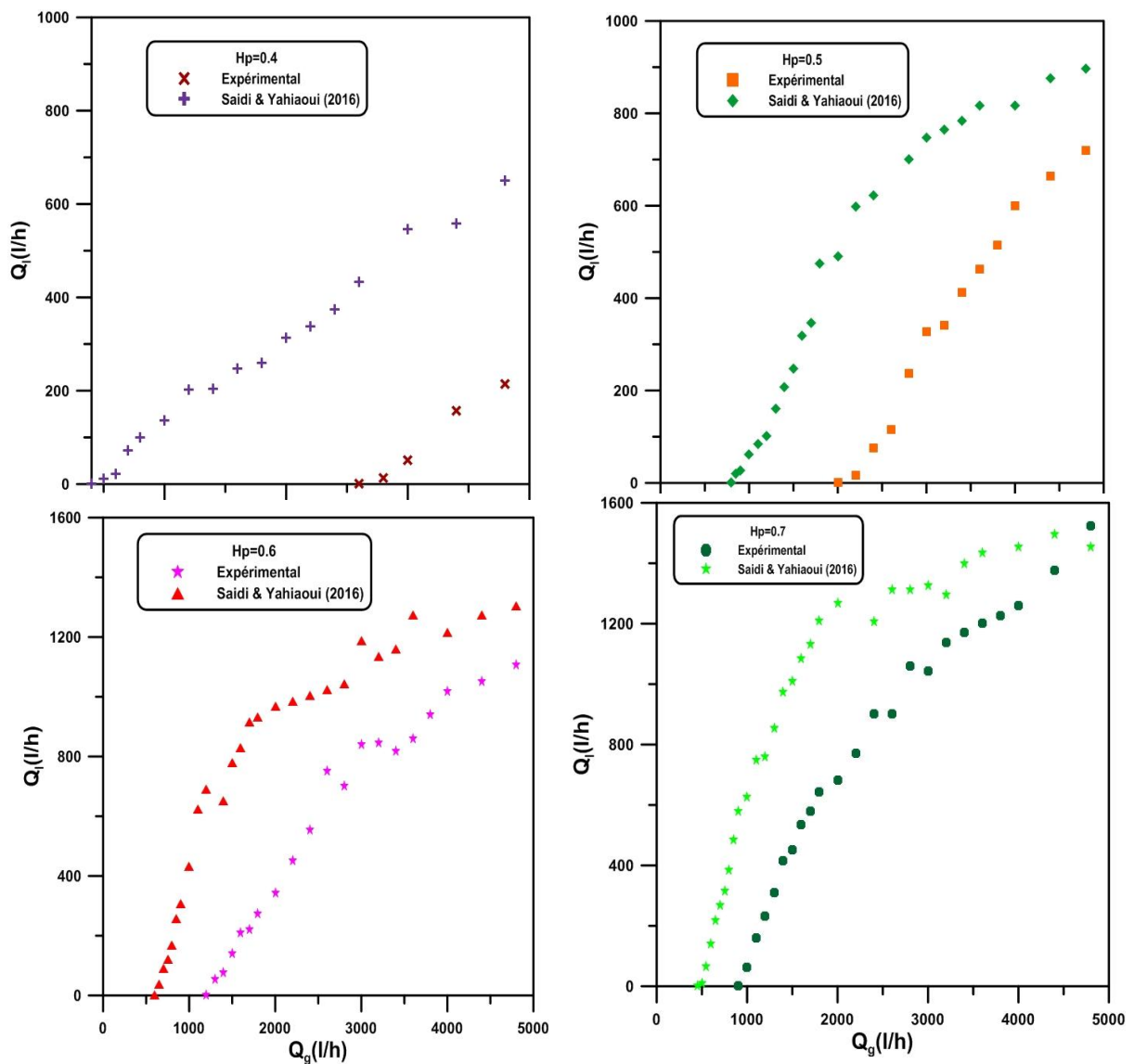


Figure IV.7: Confrontation du débit de la phase liquide de la présente étude avec celui d'un système ordinaire

IV.3 Débit minimum d'injection

IV.3.1 Débit minimum d'injection de la présente étude

Nous rappelons que le débit minimum d'injection est défini comme étant le débit du gaz qui correspond à la récupération des premières gouttes de la phase liquide passant du séparateur de phases au bac (6). Sur la figure (IV.8) nous présentons l'évolution du débit minimum d'injection en fonction de la hauteur de plongée variée de 0,4 à 0,9 avec un pas de 0,1. La présente figure montre que l'évolution du débit minimum nécessaire pour amorcer le pompage se présente sous forme de deux étapes différentes. La première s'étale de 0,4 jusqu'à 0,53. La seconde s'étale au-delà de 0,53. Concernant la première étape le débit minimum évolue d'une façon relativement sensible. Par exemple pour les hauteurs de plongée 0,3 et 0,4 la valeur du débit minimum passe respectivement de 6000 à 3800 l/h. Au cours de la deuxième étape, l'évolution présente un aspect presque linéaire avec rapprochement des valeurs qui s'accroît avec l'augmentation de H_p .

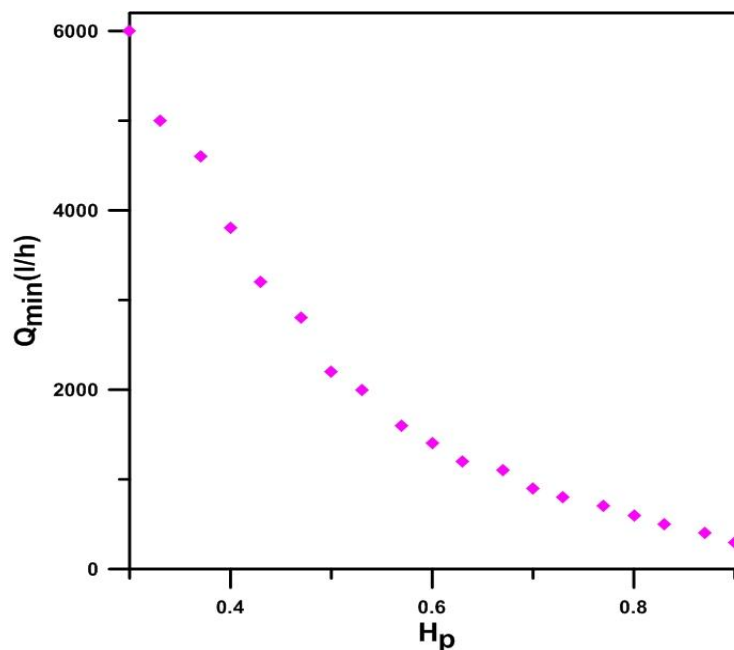


Figure IV.8: Evolution du débit minimum d'injection en fonction des hauteurs de plongée.

IV.3.2 Comparaison avec un système ordinaire

La confrontation du débit minimum d'injection avec celui obtenu avec un système ordinaire par Saidi et Yahiaoui (2016) est présentée sur la figure (IV.9). La figure montre que ce paramètre évolue d'une façon similaire. C'est-à-dire avec une allure identique en termes de variation. La figure (IV.9) montre que pour les faibles hauteurs de plongée, notamment la gamme correspondant à $H_p < 0,5$, pour une hauteur de plongée identique le débit minimum d'injection est nettement différent. Les valeurs sont d'autant plus éloignées que la hauteur de plongée est faible. A titre d'exemple, dans le cas de la présente étude, pour $H_p = 0,4$, le débit minimum d'injection est de 3800 l/h. Pour la même hauteur, ce débit est de 1150 l/h, dans le cas du système ordinaire de Saidi et Yahiaoui (2016).

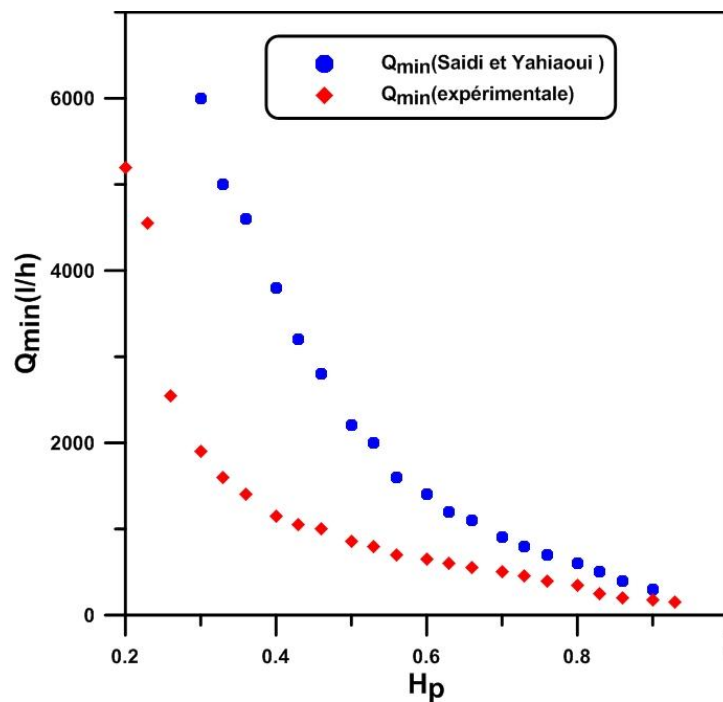


Figure IV.9: Comparaison entre le débit minimum d'injection expérimentale avec celui de Saidi et Yahiaoui

La même représentation montre qu'avec l'augmentation de la hauteur de plongée, les débits minimums d'injections ont tendance à se rapprocher. Ce rapprochement qui devient visible aux alentours de $H_p = 0,6$ s'accroît au fur et à mesure que la hauteur de plongée augmente. Nous pensons que pour la gamme ($H_p < 0,5$), la hauteur statique de la colonne remplie, ne dépassant pas le point de la

déformation géométrique (l'élargissement brusque) et pour cette raison, l'arrivée de la phase liquide dans le grand diamètre fait qu'il faut plus d'énergie pour soulever le liquide. D'où la nécessité d'atteindre de plus forts débits d'air pour amorcer le pompage. Concernant la gamme ($H_p > 0,5$), la hauteur statique dépasse l'élargissement brusque, c'est-à-dire la partie située en aval de la vanne du taux de vide ($D = 64 \text{ mm}$) est partiellement occupée par la phase liquide, d'où, le travail mécanique nécessaire pour soulever le liquide est moins important que dans le premier cas. Donc le pompage est atteint à des débits inférieurs.

IV. 4 Rendement

IV.4.1 Analyse du rendement pour $H_p = 0,6$

Nous rappelons que le rendement du système airlift utilisé est calculé par la formule de Nicklin (1963) qui le définit comme étant le rapport du travail mécanique nécessaire pour soulever la quantité du liquide à une hauteur égale à $(L - H)$ au travail mécanique développé par le compresseur suivant une détente isotherme allant de la pression d'injection à la pression atmosphérique :

$$\eta = \frac{\rho_l g Q_l (L-H)}{P_a Q_g \ln\left(\frac{P_{inj}}{P_a}\right)} \quad (\text{IV.1})$$

Sur la figure IV.10, nous avons représenté l'évolution de rendement (η) en fonction du débit d'air pour une hauteur de plongée égale à $H_p = 0,6$. On constate que l'évolution du rendement passe par trois phases distinctes. Dans la première étape, le rendement augmente sensiblement en fonction du débit d'air injecté jusqu'à atteindre un maximum de 19,23%. La deuxième étape commence à partir de ce maximum et elle s'étale sur une gamme de débit d'air (allant de 3200 à 4800 l/h). Cette phase est associée au fonctionnement optimal du système avec un régime à poches et la transition vers le turbulent baratté. Ceci concorde fort bien avec ce qui a été rapporté dans la littérature (Kassab et al., 2009, Khalil et al., 1999). Une fois la gamme optimale est atteinte, l'augmentation du débit d'air fait décroître le rendement d'une manière brusque pour atteindre des valeurs assez faibles (2,83%). Le maximum du rendement ne correspond jamais au maximum du débit de la phase liquide. La figure (IV.11) illustre bien ce constat.

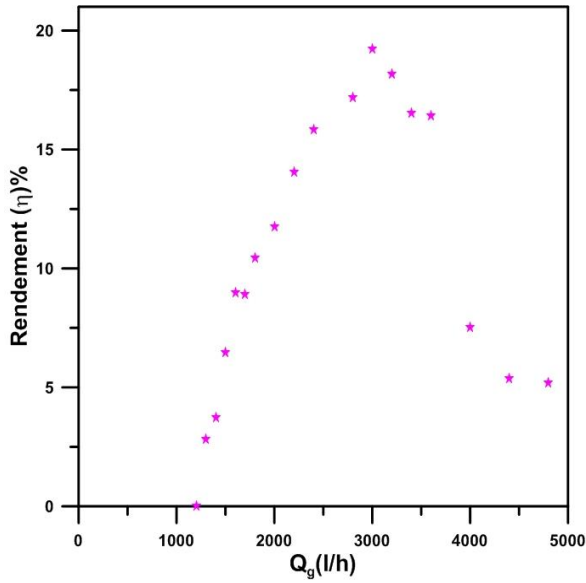


Figure IV.10: Evolution du rendement en fonction du débit d'air pour $H_p = 0,6$

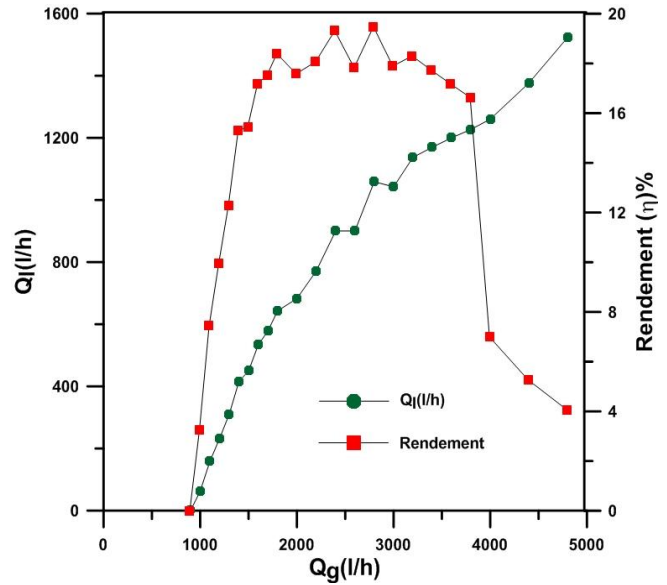


Figure IV.11: Confrontation du rendement et du débit de la phase liquide pour une hauteur de plongée identique.

IV.4.2 Effet de la hauteur de plongée

Sur la figure IV.12, on a représenté l'évolution de rendement en fonction du débit d'air pour différentes hauteurs de plongée allant de 0,4 jusqu'à 0,9 avec un pas de 0,1. Le rendement augmente avec l'augmentation de débit d'air d'une façon significative jusqu'à atteindre un maximum de 22,52% pour la hauteur de plongée 0,8. Lorsque le maximum est atteint le rendement s'étale sur un certain nombre de points : c'est la zone optimale du fonctionnement du système. La même figure montre que l'augmentation du débit d'air fait décroître le rendement d'une manière assez sensible. La confrontation du rendement avec le débit de la phase liquide dans le même repère (figure IV.11) montre clairement que le maximum du rendement ne correspond pas au maximum du débit de la phase liquide. La figure IV.12 nous confirme aussi qu'au-delà d'une certaine hauteur de plongée qui avoisine $H_p = 0.8$ que l'ordre de grandeur du rendement diminue avec l'augmentation de la hauteur de plongée ; ce ci confirme ce qui a été rapporté dans les travaux de Tighzert et al. (2013).

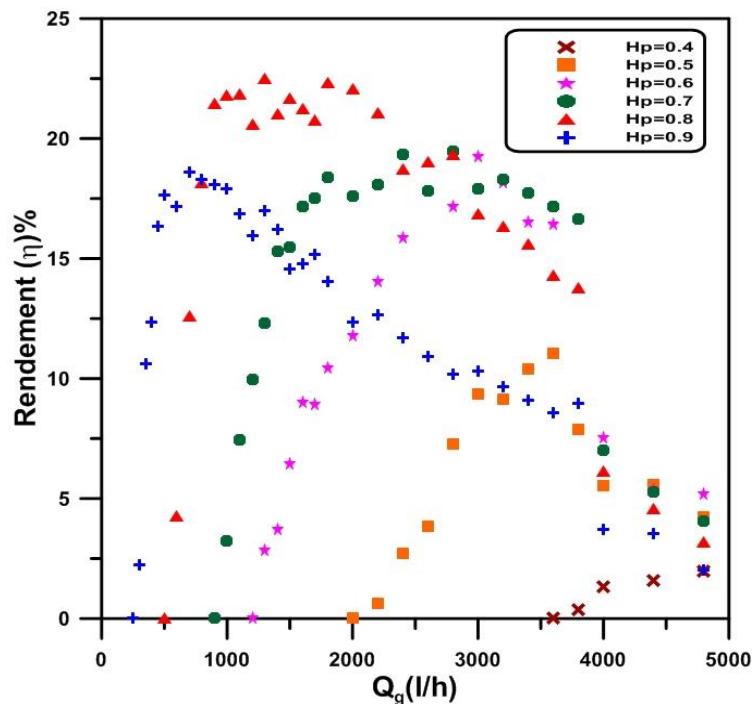


Figure IV.12: Evolution du rendement en fonction du débit d'air pour diverses hauteurs de plongée

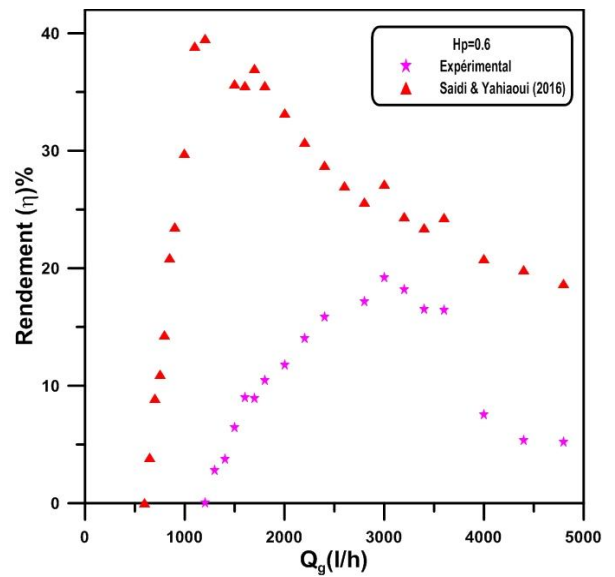
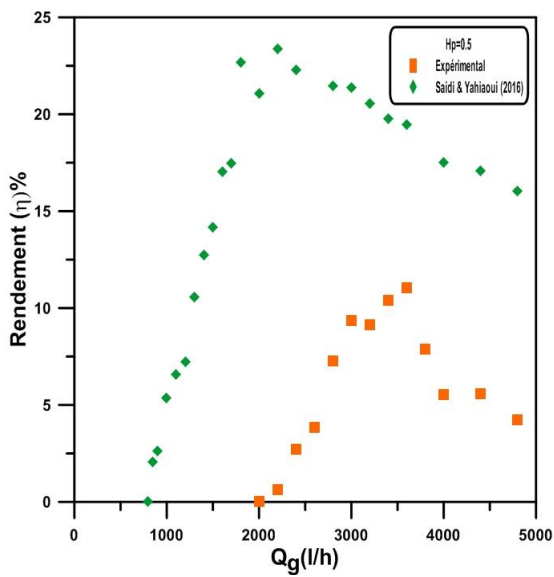
IV.4.3 Comparaison avec un système ordinaire

La confrontation de nos résultats avec ceux de Saidi et Yahiaoui (2016) pour les mêmes hauteurs de plongées : 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 présentées sur la figure (IV.13) fait état d'un écart significatif en termes d'ordre de grandeurs. Avec les deux dispositifs, l'allure de l'évolution du rendement est similaire. De même, comme nous l'avons souligné avec le débit de la phase liquide, le rendement obtenu avec le dispositif expérimental de type ordinaire est nettement supérieur à celui de la présente étude avec élargissement brusque. A titre illustratif, nous donnons dans le tableau (IV.2) quelques valeurs pour quantifier la différence. Dans la littérature certains auteurs (Mahrous et al., 2013 ; Kumar et al., 2003 ; Zakari et al., 2016) se sont proposées d'augmenter la performance du système avec la réalisation de déformations au niveau de la colonne (forme conique, élargissement brusque et la forme S). Toutefois, la présente étude ne va pas dans le même sillage que les conclusions de ces auteurs qui stipulent l'amélioration des performances lorsque les déformations sont apportées. Nos expériences réalisées avec un élargissement brusque introduit au milieu de la colonne, avec un rapport de diamètres avoisinant 2, montre que la performance diminue en comparaison avec un

système ordinaire. La dégradation du rendement serait due l'absence du régime à poches constatée dans la partie supérieure de la colonne. Les pertes de charges créées au niveau de la jonction qui sépare les deux diamètres seraient en partie responsables de la diminution du rendement enregistrée.

Tableau IV.2: Quelques valeurs illustratives pour la comparaison entre les deux systèmes.

Hp	Elargissement brusque	Système ordinaire
0,5	11,03%	23,34%
0,6	19,23%	39,53%
0,7	19,47%	35,72%
0,8	22,52%	34%



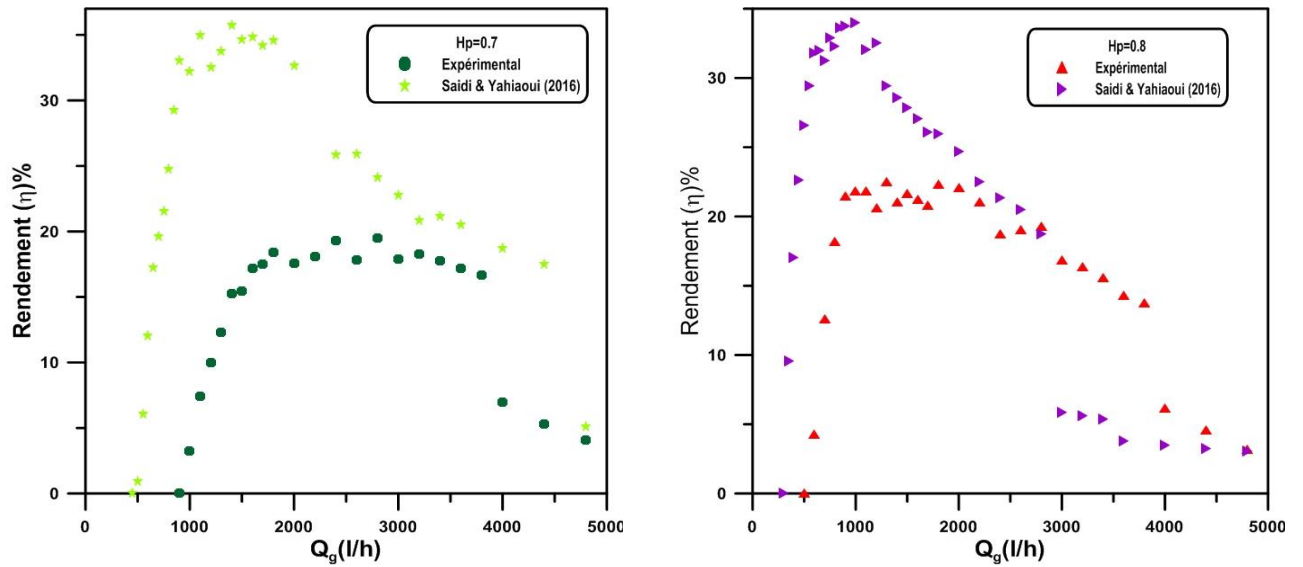


Figure IV.13: Confrontation du rendement de la présente étude avec celui d'un système ordinaire

IV.5 Efficacité

IV.5.1 Analyse pour la hauteur de plongée $H_p = 0,7$

L'efficacité est l'un des paramètres utilisé souvent pour évaluer les performances d'un système de pompage airlift. Elle est définie comme étant le rapport du débit massique de la phase liquide et le débit massique de la phase gazeuse.

$$E = \frac{\rho_l Q_l}{\rho_g Q_g} \tag{IV.2}$$

Sur la figure (IV.14) nous avons représenté l'évolution de l'efficacité en fonction du débit d'air pour la hauteur de plongée $H_p = 0,7$. Avant le pompage l'efficacité est nulle. Mais dès que le pompage s'amorce, l'efficacité augmente d'une façon sensible jusqu'à atteindre une valeur maximale de 317,23. Après ce maximum, l'efficacité diminue progressivement. La phase de progression a été associée visuellement au régime à poches et au régime à bulles. La gamme du débit d'air où l'efficacité augmente coïncide avec celle du rendement dans sa phase de progression. L'aspect d'évolution de l'efficacité est similaire à celui du rendement.

Conclusion

Dans ce présent travail nous avons abordé expérimentalement l'étude d'un système de pompage airlift de type non-ordinaire comportant un élargissement brusque au milieu de colonne avec un rapport de diamètre (33/64). L'ensemble du travail effectué consiste en la mesure du débit de la phase liquide, le débit minimum d'injection, le taux de vide tout en variant la hauteur de plongée de 0,4 à 0,9. Le calcul du rendement, l'efficacité, et le rapport de glissement. Les résultats obtenus sont ensuite confrontés à ceux d'un système ordinaire de diamètre 33 *mm*.

Au terme de cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La modification géométrique apportée modifie la structure de l'écoulement. Si le régime à bulles et le turbulent baratté sont les deux régimes communs pour les deux parties de la colonne, le régime à poches n'a pas été observé dans la partie supérieure de diamètre 64 *mm*.
- Le débit d'air injecté et la hauteur de plongée produisent le même effet sur le débit de la phase liquide qu'un système ordinaire. Toutefois en termes d'ordre de grandeurs, avec le système non-ordinaire de la présente étude, le débit de la phase liquide diminue sensiblement par rapport au système ordinaire.
- Pour les faibles hauteurs de plongée le débit minimum d'injection est affecté. L'effet de la hauteur de plongée sur ce paramètre diminue avec l'augmentation de cette dernière.
- Le fonctionnement optimal a été associé visuellement au régime à poches et à la transition vers le turbulent baratté. En termes de valeur, le rendement obtenu avec un système ordinaire est meilleur que celui de la présente étude.
- L'efficacité du système ordinaire utilisée comme référence est supérieure à celle de la présente étude.
- La comparaison du taux de vide global obtenu par un système non ordinaire avec celui d'un système ordinaire étudié par Saidi et Yahiaoui (2016) montre que la déformation

- Ahmed, W.H., Badr, H.M. (2012). Dual-injection airlift pumps: an enhanced performance. *Particulate Science and Technology*, 30, 497-516.
- Ahmed, W.H., Badr, H.M., Al-Qutub, A.M. (2016). Air injection methods: The key to a better performance of airlift pumps. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 70, 354–365.
- Bhagwat, S.M., Ghajar, A.J. (2012). Similarities and differences in the flow patterns and void fraction in vertical upward and downward two-phase flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 39, 213–227.
- Clark, N.N., Dabolt, R.J. (1986). A general design equation for air lift pumps operating in slug flow. *Aiche J.*, 32, 56-63.
- De Cachard, F., Delhaye, J.M. (1996). A slug-churn flow model for small diameter airlift pumps. *International Journal of Multiphase Flow*, 22, 627–649.
- Fan, W., Chen, J., Pan, Y.C., Huang, H., Chen, C.A., Chen, Y. (2013). Experimental study on the performance of an airlift pump for artificial upwelling. *Ocean Engineering*, 59, 47–57.
- François, O., Gilmore, T., Pinto, M.J., Gorelick, M.S. (1996). A physically based model for airlift pumping. *Water Resources Research*, 32, 2383-2399.
- Fujimoto, H., Murakami, S., Omura, A., Takuda, H. (2004). Effect of local pipe bends on pump performance of a small air-lift system in transporting solid particles. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 25, 996-1005.
- Goharzadeh, A., Fernandes, K. (2014). Air injection methods: The key to a better performance of airlift pumps. *Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2014*, November 14-20, 2014, Montreal, Quebec, Canada, IMECE2014-39899.
- Hanafizadeh, P., Saidi, M.H., Darbandi, M., Kebriae, A. (2010). Numerical simulation of two-phase flow in airlift pumps using the physical influence scheme. *Progress in Computational Fluid Dynamics, International Journal*, 10, 186-194.
- Hanafizadeh, P., Ghanbarzadeh, S. (2011). Visual technique for detection of gas-liquid two-phase flow regime in the air-lift pump. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 75, 327–335.
- Hanafizadeh, P., Hosseini Abadshapoori, M., Saidi, M.H. (2011). Effect of conical angle of upriser pipe on the performance of the airlift pump. *International Conference on Computational Heat and Mass Transfer*.
- Hanafizadeh, P., Ghorbani, B. (2012). Review study on airlift pumping systems. *Multiphase Science and Technology*, 24, 323-362.

- Hammoud, A.H., Ghaziri, M.F., Khalil, M.F. (2010). Experimental Study on Airlift Pump Handling Slurry Flow. 10th International Congress of Fluid Dynamics, December 16-19, 2010, Ain Soukhna, Red Sea, Egypt.
- Kassab, S.Z., Kandil, H.A., Warda, H.A., Ahmed, W.H. (2001). Performance of an airlift pump operating in two-phase flow. The Seventh International Congress on Fluid Dynamics & Propulsion, Cairo, Egypt.
- Kassab, S.Z., Kandil, H.A., Warda, H.A., Ahmed, W.H. (2007). Experimental and analytical investigations of airlift pumps operating in three-phase flow. *Chemical Engineering Journal*, 131, 273–281.
- Kassab, S.Z., Kandil, H.A., Warda, H.A., Ahmed, W.H. (2009). Air-lift pumps characteristics under two-phase flow conditions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 88-98.
- Kassab, S.Z., Adam, I.G., El Gohary, H.A. (2010). Influence of the air injection method on the performance of an air lift pump. *Proceedings of ICFD 10th International Congress of Fluid Dynamics*, Egypt.
- Kassab, S.Z., Abdelrazek, A.A., Lotfy, E.R. (2022). Effects of injection mechanism on air-water airlift pump performance. *Alexandria Engineering Journal*, 61(10), 7541-7553.
- Kawanishi, K., Hirao, Y., Tsuge, A. (1990). An experimental study on drift flux parameters for two-phase flow in vertical round tubes. *Nuclear Engineering and Design*, 120, 447-458.
- Khalil, M.F., Elshorbagy, K.A., Kassab, S.Z., Fahmy, R.I. (1999). Effect of air injection method on the performance of an air lift pump. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20, 598-604.
- Kumar, E.A., Kumar, K.R.V., Ramayya, A.V. (2003). Augmentation of airlift pump performance with Tapered upriser pipe: An experimental study. *Journal of the Institution of Engineers*, 84, 114–119.
- Mahrous, A.F. (2013a). Performance study of an airlift pump with bent riser tube. *Wseas Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 8, 136-145.
- Mahrous, A.F. (2013b). Airlift pump with a gradually enlarged segment in the riser tube. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 135-146.
- Mahrous, A.F. (2014). Performance of Airlift Pumps: single-Stage vs. Multistage air injection. *American Journal of Mechanical Engineering*, 2, 28-33.
- Moussaoui, S., Hamadou, Z. (2022). Étude expérimentale de l'effet de la technique d'injection multi-étage sur les performances d'un système de pompage de type airlift. Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira de Béjaia.
- Nicklin, D.J. (1963). The air-lift pump theory and optimization. *International Chemical Engineering*, 4, 29-39.

- Oumara, R., Belhadj, O. (2017). Étude expérimentale des performances d'un système de pompage de type airlift non-ordinaire. Mémoire de master. Université A. Mira de Béjaia.
- Parker, G.J. (1980). The effect of footpiece design on the performance of a small air lift pump. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2, 245-252.
- Reinemann, D.J. (1987). A theoretical and experimental study of airlift pumping and aeration with reference to aquacultural applications. Thesis. Cornell University.
- Reinemann, D.J., Patrlange, J.Y., Timmons, M.B. (1990). Theory of small diameter airlift pump. *International Journal of Multiphase Flow*, 16, 113-122.
- Saidi, S., Yahiaoui, F. (2016). Effet de la viscosité de la phase liquide sue quelques caractéristiques hydrodynamiques d'un système airlift. Mémoire de master. Université A. Mira de Béjaia.
- Tighzert, H., Brahimi, M., Kechroud, N., Benabbas, F. (2013). Effect of submergence ratio on the liquid phase velocity, efficiency, and void fraction in an airlift pump. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 110, 155–161.
- Tighzert, H. (2015). Contribution à l'étude expérimentale de la structure d'un écoulement diphasique de type airlift. Thèse de doctorat en science. Université Abderrahmane Mira de Béjaia.
- Wicomb, W.N., Cooper, D.K., Novitzky, D. (1985). An airlift pump device for low-pressure perfusion storage of the isolated heart. *Cryobiology*, 22, 401–408.
- Yijun, J., Kameil, S., Rezkallah, K. (1993). A study on void fraction in vertical co-current upward and downward two-phase gas–liquid flow. *Chemical Engineering Communication*, 126, 221-243.
- Yousfi, A., Soualah, S. (2018). Étude expérimentale de l'effet de quelques méthodes d'injection sur les performances d'un système de pompage de type airlift. Mémoire de master. Université A. Mira de Béjaia.
- Zaraki, H.E., Majidniya, M., Abadshapoori, M.H., Saidi, M.H. (2016). Experimental investigation of flow regime and efficiency of airlift pumps with tapered upriser pipe. *Multiphase Science and Technology*, 28(2), 135-152.

Résumé

Le présent mémoire se penche sur l'influence de la longueur de la colonne sur les performances d'un système de pompage airlift, L'étude explore les performances de deux configurations de systèmes de pompage airlift : L1 (colonne de 3 m) et L2 (colonne de 1,5 m). Trois régimes d'écoulement sont identifiés, avec des variations notables dans le comportement des poches d'air en fonction du débit d'air et de la hauteur de plongée. Les performances, évaluées à travers le débit minimum d'injection, le débit de la phase liquide et le rendement, démontrent l'influence positive de la longueur de la colonne sur ces paramètres, la configuration L1 surpassant la L2. Le modèle à écarts de vitesses montre une meilleure adéquation dans la L1 à faibles débits d'air. La présente étude montre que la configuration L1, avec une colonne plus longue, offre des performances supérieures, soulignant l'importance de la longueur de la colonne dans la conception des systèmes airlift. Des recherches futures devraient explorer diverses longueurs de colonne, élargir les débits d'air et travailler sur deux systèmes séparés pour une validation approfondie des résultats.

***Mots-clé :** Pompe Airlift, , longueur de la colonne, Ecoulement diphasique, Rendement, Débit de la phase liquide.*

Abstract

This paper examines the influence of column length on the performance of an airlift pump system. The study investigates two configurations: L1 (3m column) and L2 (1.5m column). Three flow regimes are identified, with notable variations in the behavior of air pockets based on air flow rate and submergence ratio. Performance evaluation, considering minimum injection flow rate, liquid phase flow rate, and efficiency, demonstrates the positive impact of column length on these parameters, with L1 outperforming L2. The drift-flux model shows a better fit for L1 at low air flow rates. The study concludes that the longer column in L1 provides superior performance, underscoring the importance of column length in airlift system design. Future research should explore different column lengths, expand air flow rates, and involve two separate systems for in-depth validation of results.

***Keywords:** Airlift pump, Column length, Two phase flow, Efficiency, Liquid phase flow rate, Performance.*