

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.
MINISTERE DE L'ENSEIGNEME SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



**PROJET DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

THEME

***Systeme de pompage par la technique
Air lift***

Présentée par :
M^{lle} .Saliha REKIBI

Dirigé par :
M^r. MESSAHLI

Promotion Juin 2011

نظرا لصعوبة استخراج بعض أنواع المائع من الابار اخترنا دراسة نظام ضخ الهواء كمصدر للطاقة لدفع الخليط و من اجل تدعيم هذه النظرية قمنا بابراز أهميته في مختلف المجالات مثل الكيمياء ، ومعالجة المياه ، ونظام النووية بعد ذلك قارنا هذه التقنية مع النتائج النظرية وإدخال المعارف المكتسبة في التطبيق العملي. من أجل استنتاج المعايير المختلفة التي تميز هذا النظام.

ومن بين مختلف هذه المحاور قمنا باقتباس نماذج سيلان ثنائي الأحوال من اجل استوعاب نوع الجريان في الأنابيب.

الكلمات الرئيسية

مضخة الهواء المضغوط، سيلان ثنائي الأحوال، خليط ماء هواء ، أنبوب

Résumé

Devant la complexité d'exploitation de certains puits, le système de pompage par la technique air lift reste l'outil le plus facile, et économique. On a essayé de la représenter comme un système de levage, et citer son importance dans différents domaines tel que la chimie, le traitement des eaux, le système nucléaire,.....

Par la suite, on a testé cette technique par une étude théorique, puis introduire les connaissances acquises dans une application pratique. Dans le but comparer entre les résultats théorique et pratique, puis distinguer les différents paramètres qui caractérisent ce système,

On a introduit quelques notions de base sur l'écoulement diphasique, en citant ses modèles et configurations.

Mots clés

Air lift, écoulement diphasique, mélange air eau, immersion, conduite.

Abstract

In front of the complexity of some operating wells, the pumping system by the air lift technique is the easier and economical tool. We tried to represent it as a lift system, and cited its importance in various fields such as chemistry, water treatment, the nuclear system, then, we tested this technique with a theoretical study and introduce the knowledge gained in practical application. In order to compare results between theory and practice, and distinguish the different parameters that characterizes this system. We introduced generalities about the two-phase flow, while we quote his models and configurations.

Keywords

Air lit, two phase flow, air mixing water, conduct.

Remerciement

Ce travail de thèse a été réalisé au laboratoire

*-De Recherche Science de l'Eau de Département d'hydraulique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger **Mr A. Bermad***

*L'encadrement par **Mr R. Messahli***

*-De Mécanique de l'Ecole nationale polytechnique d'Alger, sous la direction de **Mr Alarbi.***

*Merci à notre bon **Dieu**, notre guide, notre force, notre bonheur, et la raison de notre existante. C'est lui qui nous a fait comprendre le but de cette vie, et qui nous a donné le pouvoir d'aimer les gens et d'apprécier les choses.*

*Je remercie très vivement **Mr R. Messahli** qui m'a proposé ce sujet. Il m'a accordé ce qui est le plus précieux, son temps, son attention, pour son aide et sa disponibilité.*

*Je remercie profondément, **Mr S. Sanin**, pour sa disponibilité, son aide, et son travail constructif durant ma partie pratique de cette étude.*

Ce mémoire de thèse ne serait pas ce qu'il est sans l'aide, (le magasinier et son groupe de département mécanique, l'agent de département chimie, le groupe d'électriciens)

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé avec un geste, morale ou physique, pour achever ce mémoire. **M^{lle} S. Benmamar, Mr S. Benziada, Mr Nabbach, Mr Mouloudi.***

Pour finir je voudrais adresser une pensée amicale à tous ceux qui ont participé de loin à ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A ceux qui étaient toujours là pour moi, et ils continuent à être là, qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de ma vie. A mes très chères **Parents** ;*

*A ma chère grand-mère (**yaya**) et A mon oncle préféré*

Soussine

*A mon très cher frère **Brahim**, et mes sœurs (**Rachda, Yamina, Chahrazed**)*

*A ma nièce **Ritage***

A toute la famille,

Avec qui j'ai passé des moments inoubliables,

A mes ami(e)s

Et à tous ceux qui me sont chers

A mon Ecole Polytechnique

Aux futurs membres de la famille et aux futurs ami(e)s.

*A toute **personne** qui va lire cette thèse.*

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Lettres grecques

Introduction générale.....1

Chapitre I : Description de système de levage

1. Systèmes de levage.....	4
1.1. Monte.....	4
1.2. Roue persane.....	5
1.3. Noria.....	5
1.4. Pompe à Chaplet ou patenôtre.....	5
1.5. Saquia.....	6
1.6. Saquia où tympan.....	6
1.7. Vis d'Archimède.....	6
1.8. Pompe volumétrique.....	7
1.8.1. Pompe à piston.....	7
1.8.2. Pompe à piston plongeur	7
1.9. Hydro pompe (Pompe hydraulique à pédale).....	8
1.10. Pompe à diaphragme	9
1.11. Pompe centrifuge.....	9
1.12. Dragage par godet.....	10
2. Description des différents domaines de l'air lift.....	12
2.1. Domaine nucléaire.....	12
2.1. Industrie chimique	14
2.3. Industrie pétrolière.....	14
2.4. Domaine hydraulique	15
2.4.1. Barrage.....	15
2.4.2. Captage.....	15
2.5. Traitement des eaux usées	15

2.6. Domaine industriel.....	19
2.7. D'autre domaine d'application.....	19
2.7.1. Aération des lacs.....	19
3. Pompage par air lift.....	22
3.1. Principe de fonctionnement.....	22
Conclusion	24

Chapitre II : Généralité sur les écoulements diphasique

1. Modèles géométrique.....	25
1.1. Régime d'écoulement.....	25
1.1.1. Régime à bulles	25
1.1.2. Régime à poches	26
1.1.3. Régime à churn (écume).....	26
1.1.4. Régime annulaire.....	26
1.2. Carte d'écoulement.....	29
1.2.1 Explication de carte	30
2. Phénomènes physiques.....	31
2.1. Coalescence.....	31
2.2. Atomisation.....	32
2.3. Fluidisation	32
2.4. Flooding.....	33
3. Définition des paramètres caractéristiques	33
4. Modèles cinématique.....	35
4.1. Définition d'un modèle.....	35
4.2.1. Modèle à phase séparées.....	35
4.2.2. Modèle homogène	36
4.2.3. Modèle à flux de dérive.....	40
4.2.4. Modèle multi fluide.....	40
Conclusion	41

Chapitre III : Etude analytique de l'air lift

1. Description de la phénoménologie et leurs expressions.....	42
1.1. Caractéristiques énergétiques de l'air lift.....	48
1.2. Coefficient spécifique du la conduite de l'air lift.....	49
1.3. Débit spécifique de l'air lift.....	50
2. Interprétation des graphes.....	56
2.1. Courbe $Ql = f(Qa)$	56

2.2. Courbe $Ql = f(\alpha)$	56
2.3. Courbes de rendement $\eta=f(Qa)$	56
2.4. Courbes $aa'Q_l^2 = f(q), aa'Q_m^2 = f(q),$	56
2.5. Courbes $Q_l = f(Q_a),$ avec une variation de α	57
3. Principaux paramètres Influence sur le débit de pompage	58
3.1. Longueur du tube d'air	58
3.2. Longueur du tube d'eau.....	58
3.3. Niveau dynamique.....	58
3.4. Niveau statique	59
3.5. Pression maximale délivrée par le compresseur.....	59
3.6. Pression de service.....	59
3.7. Débit d'air de compresseur.....	59
3.8. Section utile du tube d'eau.....	60
3.9. Diamètre intérieur de tube d'air	60
3.10. Diamètre extérieur de tube d'air.....	60
3.11. Forme extérieur du tube d'eau.....	60
3.12. Forme de l'injecteur d'air	60
3.13. Facteur de submersion.....	61
4. Conséquence générales.....	61
4.1. Choix du rapport d'immersion.....	61
4.2. Choix du diamètre du tube.....	61
4.3. Choix du débit d'air.....	62
4.4. Choix du diamètre de la conduite lors de refoulement des grains solides.....	62
4.5. Influence de taille et de la concentration des éléments solides	62
Conclusion.....	62

Chapitre IV : Etude expérimentale

1. But de l'expérience.....	65
2. Matériels	65
2.1. Eléments constructifs	65
2.2. Instruments de mesure.....	65
2.3. Produits utilisés.....	65
3. Représentation de matériel.....	65
3.1. Air comprimé	65
3.2. Compresseur	66
3.3. Séparateur	66

3.4. Mélangeur.....	66
3.5. Régulateur de débit	67
3.6. Injecteur.....	67
3.7. Réservoir d'alimentation.....	67
3.8. Limnimètre.....	68
3.9. Manomètre.....	68
4. Présentation de l'installation.....	68
5. Manipulations et mesures.....	68
6. Etalonnage des instruments de mesures.....	70
6.1. Diaphragme.....	71
6.1.1. Etalonnage de diaphragme.....	73
6.2. Déversoir triangulaire	74
6.2.1. Etalonnage de déversoir triangulaire.....	72
7. Explication physique de phénomène.....	80
Conclusion.....	82

Chapitre IV : Résultats et analyse

1.2. La variation de débit spécifique en fonction de l'immersion relative.....	88
1.3. Variation coefficient de débit en fonction de q et α	89
1.4. Variation de perte de charge en fonction du q et α	90
2. Interprétation des résultats	92
2.2. Variation $q=f(\alpha)$	93
2.1. Variation $Q_l = f(Q_a)$	93
2.3. Variation perte de résistance.....	94
2.4. Variation $KQ = f(q), KQ = f(q)$	94
Conclusion générale.....	96
Bibliographie	

Liste des figures

<i>Fig. I-1</i> : Elévation de liquide par la motricité animale	4
<i>Fig. I-2</i> : Roue persane	5
<i>Fig. I-3</i> : Noria	5
<i>Fig. I-4</i> : Pompes à chapelet	6
<i>Fig. I-5</i> : Saquiya.....	6
<i>Fig. I-6</i> : Saquiya ou Tympan	6
<i>Fig. I-7</i> : Pompe a vis Archimède	7
<i>Fig. I-8</i> : Pompe à piston	8
<i>Fig. I-9</i> : Pompe à piston plongeur.....	8
<i>Fig. I-10</i> : Pompe hydraulique à pédale	8
<i>Fig. I-11</i> : Pompe centrifuge	10
<i>Fig. I-12</i> : Chaines de godet	10
<i>Fig. I-13</i> : Domaines d'utilisation de l'air lift	12
<i>Fig. I-14</i> : Schéma de fonctionnement d'un Réacteur nucléaire à Eau Bouillante (BWR).....	13
<i>Fig. I-15</i> : Schéma de fonctionnement d'un Réacteur nucléaire à Eau Pressurisée (PWR).....	13
<i>Fig. I-16</i> : Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique.....	14
<i>Fig. I-17</i> : Exploitation des gisements de pétrole.....	15
<i>Fig. I-18</i> : Production d'un puit d'eau	15
<i>Fig. I-19</i> : Dessableur.....	16
<i>Fig. I-20</i> : Différente agitation d'un réacteur	17
<i>Fig. I-21</i> : Schéma simplifié d'un air lift à boucle externe	18
<i>Fig. I-22</i> : Air lift à boucle interne	19
<i>Fig. I-23</i> : Système de recirculation d'un lac	20
<i>Fig. I-24</i> : Aquarium par technique air lift	20
<i>Fig. I-25</i> : Système pompage par air lift	26
<i>Fig. II-1</i> : Régime d'écoulement diphasique vertical.....	27
<i>Fig. II-2</i> : Régime d'écoulement diphasique en conduite vertical (images réels)....	27
<i>Fig. II-3</i> : Régime d'écoulement diphasique horizontal.....	28
<i>Fig. II-4</i> : Les différents régimes d'écoulement diphasique.....	26

<i>Fig. II-5</i> : Écoulements en conduite inclinée en fonction de la vitesse superficielle du gaz ..	29
<i>Fig. II-6</i> : Carte d'écoulement pour conduite horizontale.....	30
<i>Fig. II-7</i> : Le phénomène de coalescence	31
<i>Fig. II-8</i> : Esquisse bidimensionnelle de l'atomisation d'un écoulement liquide	32
<i>Fig. III-1</i> : Principe de la technique air lift	44
<i>Fig. III-2</i> : Schéma.....	50
<i>Fig. III-3</i> : Variation de débit liquide en fonction de débit 'air (($\Psi=0.078$)).....	52
<i>Fig. III-4</i> : Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$).....	52
<i>Fig. III-5</i> : Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs de diamètre D .	53
<i>Fig. III-6</i> : Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs de diamètre D .	53
<i>Fig. III-7</i> : $Q_l = f(Q_a)$ pour différente valeur d'alpha (air lift court).....	54
<i>Fig. III-8</i> : $Q_l = f(Q_a)$ pour différente valeur de α (air lift long).....	54
<i>Fig. III-9</i> : $Q_l = f(\alpha)$ débit liquide en fonction de α (air lift court).....	55
<i>Fig. III-10</i> : Coefficient du débit spécifique en fonction d'alpha $q_l = f(\alpha)$	55
<i>Fig. III-11</i> : Coefficient du débit spécifique en fonction d'alpha $q_c = f(\alpha)$	56
<i>Fig. III-12</i> : $aa'Q_m^2 = f(q)$	56
<i>Fig. III-13</i> : $aa'Q_l^2 = f(q)$	57
<i>Fig. III-14</i> : $Q_{ab} = f(\alpha)$	57
<i>Fig. III-15</i> : Les formes des injecteur d'air	62
<i>Fig. IV-1</i> : Compresseur.....	66
<i>Fig. IV- 2</i> : Séparateur.....	66
<i>Fig. IV- 3</i> : Schéma réel et dessin technique de mélangeur	67
<i>Fig. IV-4</i> : Réservoir d'alimentation.....	67
<i>Fig. IV-5</i> : Limnimètre.....	68
<i>Fig. IV- 6</i> : Manomètre.....	68
<i>Fig. IV- 7</i> : Description schématique de l'installation.....	69
<i>Fig. IV-8</i> : Branche B de l'installation.....	70
<i>Fig. IV- 9</i> : Diaphragme	72
<i>Fig. IV-10</i> : Prises de pression au niveau de diaphragme.....	72
<i>Fig. IV-11</i> : Courbe d'étalonnage du manomètre à eau incliné	73
<i>Fig. IV-12</i> : Linéarisation de la courbe d'étalonnage de diaphragme.....	74

<i>Fig. IV-13 : Déversoir triangulaire.....</i>	<i>74</i>
<i>Fig. IV- 14: L'angle θ en fonction de coefficient μ.....</i>	<i>76</i>
<i>Fig. IV-15 : Dimension de déversoir triangulaire.....</i>	<i>76</i>
<i>Fig. IV- 16: Réservoir de mesure de volume.....</i>	<i>77</i>
<i>Fig. IV-17 : Courbe d'étalonnage de déversoir.....</i>	<i>77</i>
<i>Fig. IV- 18: Schéma</i>	<i>81</i>
<i>Fig. IV-19 : Schéma.....</i>	<i>81</i>
<i>Fig. V- 1: $Q_l = f(Q_a), \eta = f(Q_a)$ pour $\alpha= 0.21$.....</i>	<i>86</i>
<i>Fig. V- 2: $Q_l = f(Q_a), \eta = f(Q_a)$ pour $\alpha= 0.28$.....</i>	<i>87</i>
<i>Fig.V-3: $Q_l = f(Q_a), \eta = f(Q_a)$ pour $\alpha= 0.39$.....</i>	<i>87</i>
<i>Fig.V-4: $Q_l = f(Q_a), \eta = f(Q_a)$ pour $\alpha= 0.5$.....</i>	<i>88</i>
<i>Fig. V-5: $Q_l = f(Q_a), \eta = f(Q_a)$ $\alpha= 0, 68$.....</i>	<i>88</i>
<i>Fig. V-6: Débit spécifique en fonction α.....</i>	<i>89</i>
<i>Fig. V-7 : Coefficient de débit en fonction de α.....</i>	<i>90</i>
<i>Fig. V-8: Coefficient de débit en fonction de débit spécifique.....</i>	<i>90</i>
<i>Fig. V-9 : Perte de charge en fonction de débit spécifique.....</i>	<i>91</i>
<i>Fig. V-10 : Perte de charge en fonction de α.....</i>	<i>92</i>
<i>Fig. V- 11: Coefficient de résistance spécifique de l'air lift.....</i>	<i>92</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau. IV-1</i> : μ en fonction de θ	75
<i>Tableau. IV-2</i> : caractéristique de réservoir triangulaire	75
<i>Tableau IV- 3</i> :Etalonnage de déversoir triangulaire.....	73
<i>Tableau. IV-4</i> : Mesure de μ	78
<i>Tableau. IV-5</i> : L'erreur sur le déversoir triangulaire.....	79
<i>Tableau. IV-6</i> : Débit de la ville	82
<i>Tableau .V-1</i> : Débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,21$	84
<i>Tableau .V-2</i> : Débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,28$	84
<i>Tableau .V- 3</i> : Débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,39$	85
<i>Tableau .V-4</i> : Débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,5$	85
<i>Tableau .V- 5</i> : Débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,68$	86
<i>Tableau .V-6</i> : Variation du débit spécifique q en fonction de l'immersion relative α	89
<i>Tableau. V- 7</i> : Coefficient de débit.....	89
<i>Tableau .V-8</i> : Pertes de charge, coefficients de résistance.....	91

Liste d'abréviation

A : Aire de la conduite

D : Diamètre de la conduite

d_a : Diamètre de bulles

f_{pm} : Coefficient de frottement pariétal

τ_w : Contrainte pariétale (N/m²)

G : Flux massique totale $\frac{Kg}{m^2.s}$

L_{air} : Longueur de conduite d'air

m_1 : Débit massique de la phase 1

m_2 : Débit massique de la phase 2

N.S : Niveau statique

N.D : Niveau dynamique

Q_m : Débit du mélange

R_e : Nombre de Reynolds

R_g : Taux de gaz global

R : Résistance de la conduite de refoulement

S : Glissement entre les phases.

η_t : Densité de flux massique totale

N_a : Puissance absorbée par l'air lift

h : Immersion géométrique.

P_c : Pression donnée par le compresseur

ΔP_c : Perte de pression dans la conduite d'air.

$P_{moy.m.b}$: Pression moyenne du mélange de barbotage ;

$\rho_{m.b}$: Masse volumique du mélange de barbotage

$Q_{a moy}$: Débit moyen d'air ;

P_{moy} : Pression moyenne.

h_a : Hauteur de la colonne du mélange correspondant à la pression atmosphérique.

Δh_a : Hauteur d'élévation

P_{mm} : Pression de mise en marche au niveau du mélangeur

P_m : Pression hydrostatique à l'intérieur du mélangeur

q_a : Débit d'air (spécifique) supplémentaire à fournir à l'air lift pour vaincre les pertes de charge

V_s : vitesse de sortie du jet au niveau du séparateur

N_f : Puissance fournie par le compresseur

aa' : Résistance spécifique d'air lift

q_a : Débit d'air (spécifique) supplémentaire à fournir à l'air lift pour vaincre les pertes de charge

K_Q : Le coefficient de débit liquide.

Grecque

χ : Titre massique

τ_w : Contrainte pariétale (N/m²)

α : Taux de vide

$\langle \alpha \rangle$: Taux de vide moyenné sur la section totale d'écoulement

Ψ : coefficient de résistance hydraulique

μ_1 : Viscosité dynamique de la phase 1

μ_2 : Viscosité dynamique de la phase 2

Introduction générale

Il y a plus de deux mille ans, la civilisation romaine a édifié de nombreux aqueducs parfois très longs et monumentaux, afin d'amener par gravité l'eau des collines et des montagnes vers les zones rurales à irriguer et les zones urbaines à abreuver. [8]

Le transport est tout à la fois une activité particulière, dont les caractéristiques justifient une approche propre, et une activité mêlée aux autres. D'une part, le transport est une activité industrielle, L'une des orientations du progrès technique dans les transports est le développement du transport par pipeline. [16]

Le premier concept industriel de transport par canalisation aurait été formulé par le Russe Dimitri Mendeleïev en 1863, Il suggéra une solution technique utilisant des tubes pour transporter du (gaz, huile, eau..).[37]

Ces régimes de transport sont différents selon le type de fluides et selon la nature des risques à maîtriser

Les principaux systèmes de transport par canalisation concernent :

- le gaz naturel, transporté par gazoduc ;
- les hydrocarbures liquides, dont surtout le pétrole, transportés par oléoduc. [37]

La majeure partie du pétrole brut dans le monde est transportée par navires-citernes, depuis les zones de production telles que le Moyen-Orient et l'Afrique vers les raffineries des zones de consommation comme l'Europe, le Japon et les Etats-Unis. Le premier navire spécialisé, construit en 1886.

Les lois et décrets qui déterminent les conditions générales dans lesquelles une société est autorisée à construire et exploiter un ou plusieurs ouvrages de transport. Canalisation de transport de gaz en 15/06/1906, et le transport des hydrocarbures liquides ou liquéfiés par la loi 58-336 du 29/03/1958, transport des produits chimique par la loi de 65-498 du 29/06/1965 ,canalisation de distribution de gaz par la loi de 15 /02/1941.

Transport par pipeline est un transport hydraulique à laquelle le cours d'eau ou un mélange de transporter des matériaux friables ou un mélange homogène dans les tuyaux est le plus en perspective. En raison des avantages connus de ces types de transport trouvent leur application au mouvement des minéraux (charbon, de sable, l'huile, des solutions de sels, etc) à partir de la place du butin à l'utilisateur, les déchets des usines de concentration, cendres et des scories de centrales thermiques stations dans des décharges; paraison à l'endroit de stockage. Pour les secteurs verticaux ou inclinés de transport, par exemple, se lever d'un matériau dur de la terre où du fond des réservoirs différents à l'exploitation minière, se de

liquide minuscules (eaux, huiles et autres) sur la surface de la terre, il est parfois très utile d'utiliser la pompe par air lift.

La technique Air-lift a été découverte par l'ingénieur allemand Carl.E Loescher dans l'industrie minière 1797 où il a trouvé utile pour pomper et développer les puits.

Cette technique a été vue dans l'exploitation minière du charbon industrie à cause de sa capacité d'extraire les minéraux de puits de mine profonds.

La première application de cette technologie aux Etats-Unis n'a pas été vue jusqu'à 1846.

En 1970 Spoltte a encouragé le système de pompage par la technique Air-lift pour ses avantages.

Le pompage par la technique Air-lift a été utilisé pour l'extraction d'eau de mer 1981 aussi bien que circulation d'eau et aération dans les étangs de l'aquaculture en 1994.

Le système de pompage par la technique Air-lift en 2004 a été décrit comme un appareil pour élever des liquides ou mélanges de liquides à travers une conduite verticale. [19]

Ce document est composé de cinq chapitres :

L'étude théorique

Chapitre I : on a essayé au départ de décrire les différents systèmes de levage, mettant en évidence la position de procédé de pompage par la technique air lift. Tout en situant ses avantages et ses inconvénients, les différents schémas de système de levage utilisés pour le pompage seront donnés et au même temps on a cité les différents domaines qui utilisent l'air lift.

Chapitre II : généralité sur les écoulements diphasique, donner (les modèles cinématiques, géométriques, la phénoménologie) sont indispensables pour la compréhension de l'étude. Pour connaître les phénomènes, le type d'écoulement qui se passe dans la conduite de refoulement.

Chapitre III : Développement des différentes relations théoriques de fonctionnement et tracer des caractéristiques, une analyse de ces caractéristiques nous permettra de comprendre le fonctionnement et donner le meilleur choix des paramètres.

L'étude expérimentale

D'après les divers utilisations d'air lift tel que la chimie, l'industrie, traitement des eaux...ect, on a préféré d'appliquer ce système pour l'exploitation d'un puits d'eau d'un part pour décrire la pompe de levage et d'autre part de montrer l'intérêt d'étudier les écoulements diphasiques.

Chapitre IV : englobe la représentation de l'installation avec l'explication de matériel utilisé et leur rôle.

Chapitre V : ce chapitre est consacré pour l'interprétation des résultats avec comparaison des prédictions et des résultats pratiques.

Et enfin, nous terminons par une conclusion générale sur tout le travail. et donné une recommandation de cette technique pour le future.

Chapitre I

Description de système de levage

Depuis la préhistoire, l'homme a toujours eu besoin de soulever, tirer et transporter. Plusieurs systèmes de levage sont utilisés suivant les appareils et surtout les hauteurs auxquelles on prévoit de lever.

Les techniques d'élévation du liquide font appel à l'énergie motrice nécessaire pour la mise en marche soit par l'homme lui même, les animaux ou bien par la gravité. Avec le temps, l'homme a pu développer et maîtriser d'autres sources d'énergies, tel que le plan incliné, les systèmes de poulie, le treuil, les pompes, et avec des commandes montée/descente Ce chapitre nous renseigne sur l'évolution des appareils de levage à travers les siècles. [8], [26]

1. Systèmes de levage

1.1. Monte

Le dispositif « Monte » constitue certainement le premier système d'élévation de l'eau, il comporte un seau (en cuire, caoutchouc..) attaché à une corde, qui manœuvrée par des animaux qui représente comme force motrice. Le seau se vide au bout de la course,

Avantages :

- La motricité animale présente un double avantage par rapport à la motricité humaine ;
- La puissance des animaux est de 5 à 10 fois supérieure à celle des êtres humains ;
- Le pompage sera plus rapide et le débit sera aussi plus fort.

Inconvénients :

- La nécessité de prendre en charge les animaux 365 jours par an pour s'en servir uniquement durant la période d'élévation.

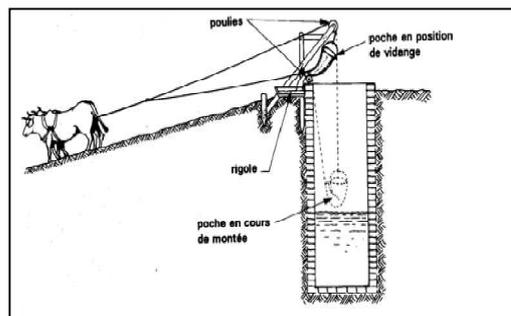


Fig. I-1: Elévation du liquide par la motricité animale

► Remarque

Il est certain que le rendement d'une installation, et par suite sa productivité seront nettement meilleurs si le dispositif élévateur de l'eau est animé d'un mouvement circulaire continu plutôt que d'un mouvement cyclique de va et vient (alternatif).

Description de Système de levage

1.2. Roue persane

Le premier dispositif élévateur fonctionnant en régime continu (*Fig. I-2*) comporte des godets en terre attachés à une chaîne montée sur une roue motrice.

► *Remarque*

Le nombre de godet reste le même quelle que soit la hauteur d'élévation.

1.3. Noria

La noria est une roue hydraulique (*Fig. I-3*) qui fonctionne suivant le même principe de la roue persane, la seule différence c'est que les bacs d'eau sont directement placés sur le pourtour de la roue motrice plutôt que sur une courroie. Le débit fourni par ces dispositifs est en fonction de la capacité des godets et de la vitesse à laquelle ils atteignent le sommet de la roue.

Avantages :

-Les roues persanes et les norias ont un bon rendement mécanique.

Inconvénients:

-Les pertes d'eau sont inévitables lors de la montée du fait qu'une certaine quantité d'eau s'échappe obligatoirement des godets.

-Perte d'énergie par frottement.

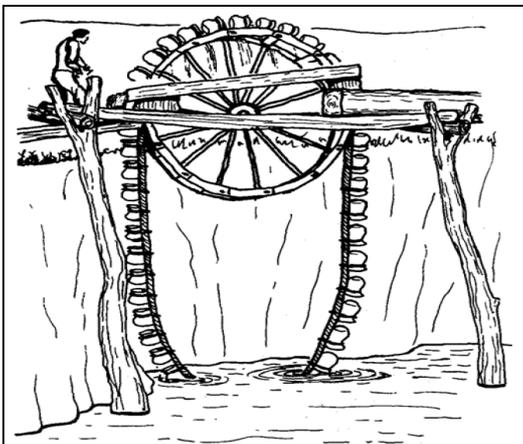


Fig. I-2: Roue persane

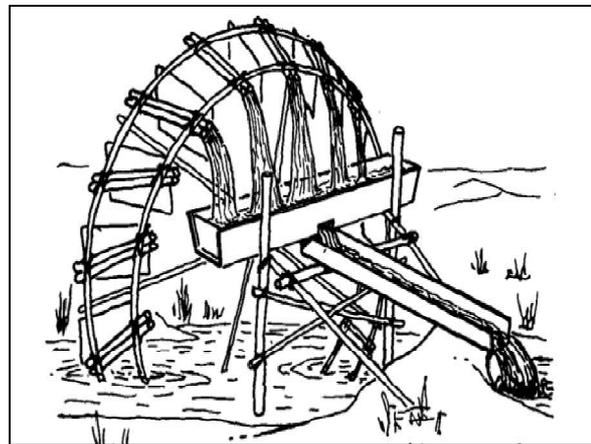


Fig. I-3: Noria

1.4. Pompe à chapelet où patenôtre

Les origines de ce type de pompe remontent à plus de 2 000 ans, cette pompe peut être actionnée par l'énergie humaine, animale ou mécanique, ou par une éolienne classique.

La capacité d'une pompe à chapelet est en fonction du diamètre de la gaine et de la vitesse de rotation de la chaîne.

Avantage :

Description de Système de levage

-Elle peut travailler dans une large fourchette de hauteur du refoulement.

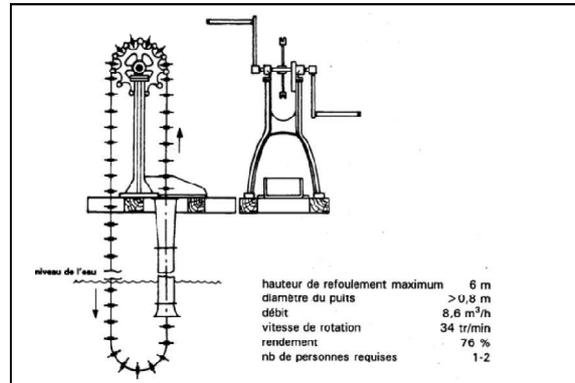


Fig. I-4: Pompe à chapelet

1.5. Saquiya

Ce dispositif réduit les éclaboussures et les pertes d'eau par déversement, ainsi que la hauteur d'élévation supplémentaire au-dessus de la goulotte collectrice.

1.6. Saquiya ou tympan (à commande électrique)

Il s'agit d'une grande roue évidée à deux joues comprenant entre elles des compartiments en forme de volute (godets). L'eau est déversée au niveau ou à proximité du noyau de la roue, à l'opposé de la roue classique où l'eau est déversée sur la partie supérieure.

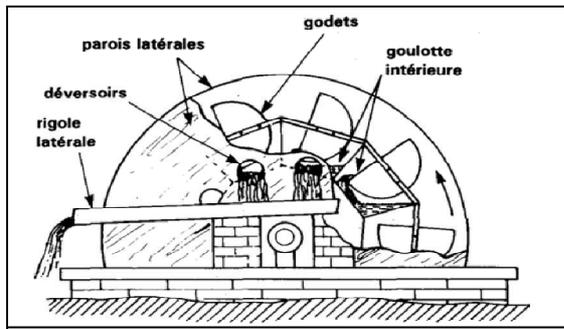


Fig. I-5: Saquiya

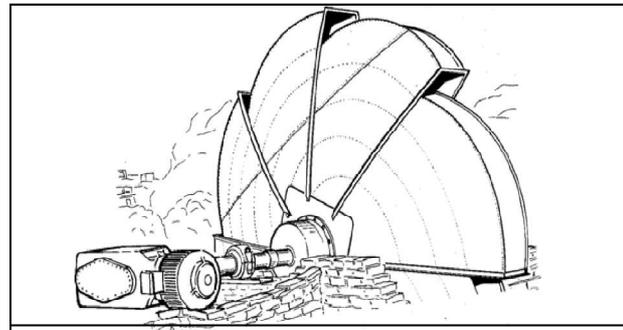


Fig. I-6: Saquiya où tympan

1.7. Vis d'Archimède

La vis d'Archimède ne peut élever l'eau qu'à des faibles hauteurs. Elle est généralement montée en pente.

Chaque modèle à une inclinaison optimale qui varie selon le pas et le diamètre de l'hélice interne.

Description de Système de levage

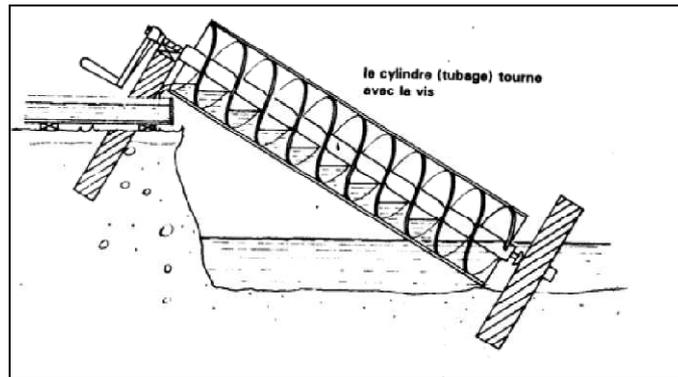


Fig. I-7: Pompe à vis d'Archimède

1.8. Pompe volumétrique

1.8.1. Pompe à piston

L'eau sera déplacée le long du tuyau sous l'effet du mouvement du piston. De même, si le tuyau plonge en partie ou en totalité dans l'eau, au moment où l'on soulève le piston, le vide est produit dans la partie inférieure du tuyau, et l'eau monte dans le tuyau par aspiration.

1.8.2. Pompe à piston plongeur

Le piston est remplacé par un cylindre creux appelé "plongeur" qui déplace l'eau. Les pompes de ce genre sont très indiquées lorsque les débits sont faibles et que la hauteur de refoulement est très importante.

Avantages :

- Bon rendement.

Inconvénients :

- L'emploi des pompes à plongeur et que les joints du plongeur sont moins sujets à l'usure par les matières abrasives en suspension dans l'eau ;
- Viscosité assez faible ;
- Pompage impossible des particules solides: la pompe ne fonctionne bien que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.

Description de Système de levage

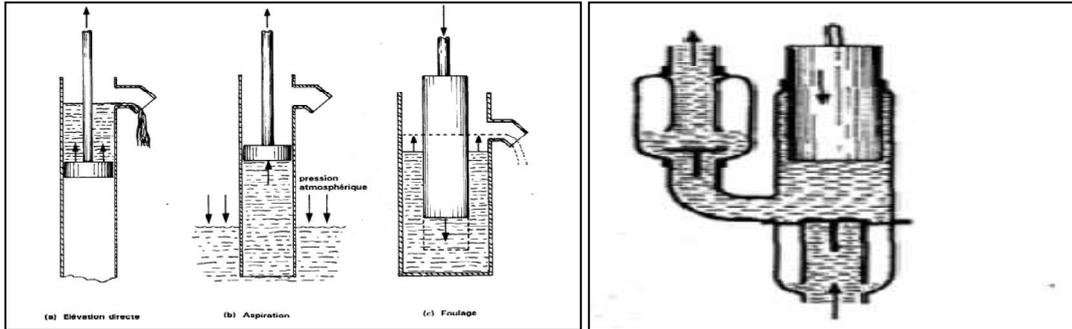


Fig. I-8: Pompe à piston

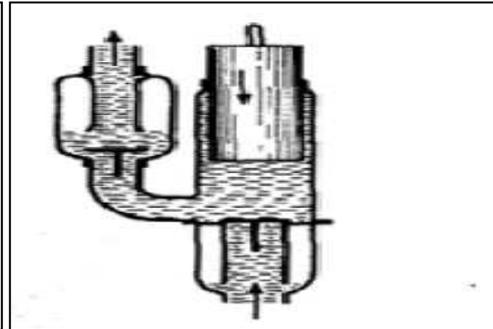


Fig. I-9: Pompe à piston plongeur

1.9. Hydro pompe (pompe hydraulique à pédale)

Pompe hydraulique à pédale est utilisée pour les petits projets d'alimentation en eau. Elle fonctionne avec une pédale montée sur un piston de commande qui force l'eau à descendre dans un tuyau flexible. Le cylindre de la pompe est immergé d'ans l'eau.

Inconvénient :

- Le débit produit est insuffisant pour l'utiliser ;
- Plus complexes et coûteux par rapport à une tige classique ;
- Leur rendement est généralement plus faible du fait des frottements supplémentaires provoqués par la mise en mouvement de l'eau nécessaire pour faire fonctionner la pompe.

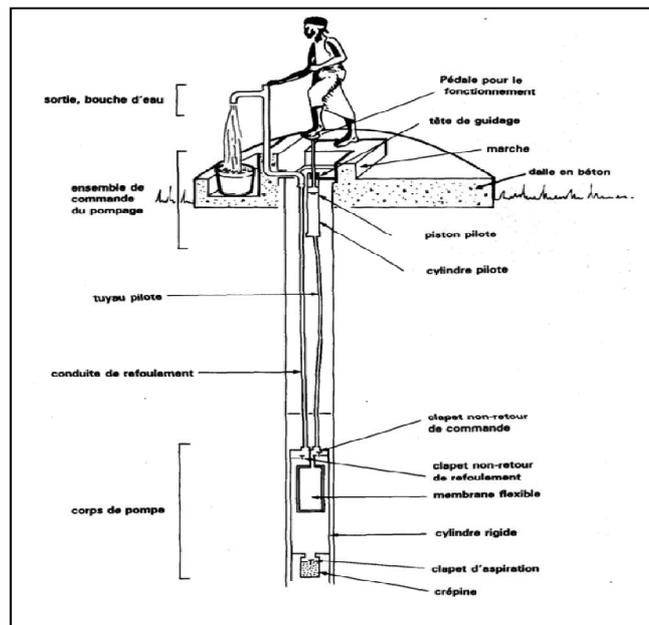


Fig. I-10 : Pompe hydraulique à pédale

1.10. Pompe à diaphragme

La course d'un piston dans un cylindre peut être tout à fait remplacée par le mouvement d'une membrane souple remplaçant une des faces du cylindre. Une pompe à diaphragme est similaire à une pompe à piston de grand diamètre et d'une course courte.

Avantage :

Elle possède :

- Une étanchéité parfaite sauf en cas de défaillance des deux clapets anti-retour.
- Un bon rendement mécanique. En effet, la flexion d'une membrane se fait avec beaucoup moins de frottement que le coulisement d'un piston avec ses joints dans un cylindre spécial qui sont difficiles à se retrouver ou à s'arranger sur place.

1.11. Pompe centrifuge

Une pompe centrifuge accélère le fluide qui la traverse en lui communiquant un mouvement de rotation, donc une certaine énergie hydraulique.

Les aubes d'une pompe peuvent imposer soit un écoulement radial, soit axial ou encore un écoulement mixte. Pour le pompage de forts débits à de faibles hauteurs d'eau à roue la plus performante est celle à écoulement axial. La roue est semblable à une hélice installée dans une conduite.

L'élévation de l'eau est produite par l'énergie communiquée par une palette mobile bien profilée (aérodynamique). Par contre, pour des hauteurs d'eau importantes et des débits faibles, le rotor doit être à écoulement centrifuge (écoulement radial). Il est généralement caractérisé par un rapport entre le diamètre à l'entrée et à la sortie, il doit être important pour que l'écoulement soit pratiquement radial entre ces deux cas extrêmes on trouve toute la gamme des pompes hélico-centrifuges.

Avantages :

- Prix de revient faible ;
- Couplage direct avec un moteur, absence de vibrations ;
- Elles servent également à la propulsion des navires, en particulier en eaux peu profondes ;
- Présentent souvent un meilleur rendement, et un fonctionnement plus régulier ;
- Leur plus grande simplicité mécanique a tendance à les rendre meilleur au marché.



Fig. I-11: Pompe centrifuge

1.12. Dragage par godet

Le terme dragage est également appliqué à un équipement à godet plus petit utilisé par les scientifiques pour examiner le sol marin.

Le dragage est une branche de la construction hydraulique «par voie humide», qui se fait sur la côte, les rives, un lac ou d'un port maritime. Il Pour récupérer les minéraux et les métaux précieux, ou pour enlever les couches superficielles avant de les atteindre. Tout comme le cas de l'extraction sur terre. [34]

La drague à godets est l'un des plus anciens dragues (Les premières dragues à vapeur utilisaient déjà ce principe). Sont constituées d'une chaîne sans fin équipée de godets, porte essentiellement sur le transport, l'aspiration et le stockage hydraulique des matières fixes sont détachées en continu du fond au-dessus de la surface de l'eau et les déchargent soit directement dans des chalands, soit sur un convoyeur dans le cas de courtes distances.[32]

◆ Godets

Un godet est élément mécanique fixé sur la chaîne d'une drague à godets ou sur d'autres La forme de ceux-ci est très élaborée : ils sont issus d'un moule de fonderie. Plus souvent ils sont réalisés en chaudronnerie. La contenance des godets est variable, de 100 à 750 litres

Le godet est le contenant qui permet la préhension et le déplacement des matériaux.



Fig. I-12: Chaîne de godet

Description de Système de levage

Avantages :

- Le dragage est souvent effectué afin de créer des fondations sous-marines;
- Il facilite l'emplacement des pipelines et des éléments de Tunnels immergés;
- Il permet de construire des ouvrages de contrôle des crues comme des barrages, digues ou remblais;
- Il assure les défenses contre les inondations (en améliorant ou en maintenant la capacité de déchargement des cours d'eau);
- Il crée où maintient des capacités de stockage en eau ;
- Il peut se réaliser à des profondeurs assez grandes (30 mètres) ;
- Les quantités prélevées sont importantes (typiquement, plusieurs milliers de tonnes à plusieurs dizaines de milliers de tonnes) ;
- Les dragues peuvent être utilisées dans des zones difficiles d'accès.

Inconvénients :

- Les opérations de dragage posent un problème environnemental car elles favorisent la dispersion des particules fines et une mobilisation des contaminants et donc la bio accumulation ;
- La technique de dragage par godet nécessite des investissements très importants ;
- Les pertes de matériaux par remise en suspension, lors du mouvement du godet.

Une pompe ordinaire ne peut pas répondre à certaines situations technologiques de pompage particulièrement pour les cas suivants :

- Pour un pompage à une profondeur très importante ;
- Pour le transport des produits multiphasiques ou corrosifs où les pompes ordinaires peuvent être endommagées après un temps de fonctionnement très limité;
- Dans le cas des puits pétrolier non exploités à cause de la pression insuffisante.

Pour cela un procédé a été mis en œuvre qui est la technique **Air lift**.

2. Description des différents domaines d'air lift

L'air lift est un dispositif hydraulique qui se manifeste dans plusieurs domaines. On citera les principaux domaines où les processus industriels ont suscité un développement important de recherche théorique et expérimentale qui sont concernés par cette technique. [1], [2]

- ▶ Domaine nucléaire ;
- ▶ Domaine chimique ;
- ▶ Domaine pétrolier ;
- ▶ Domaine hydraulique ;
- ▶ Traitement des eaux.
- ▶ D'autre application.

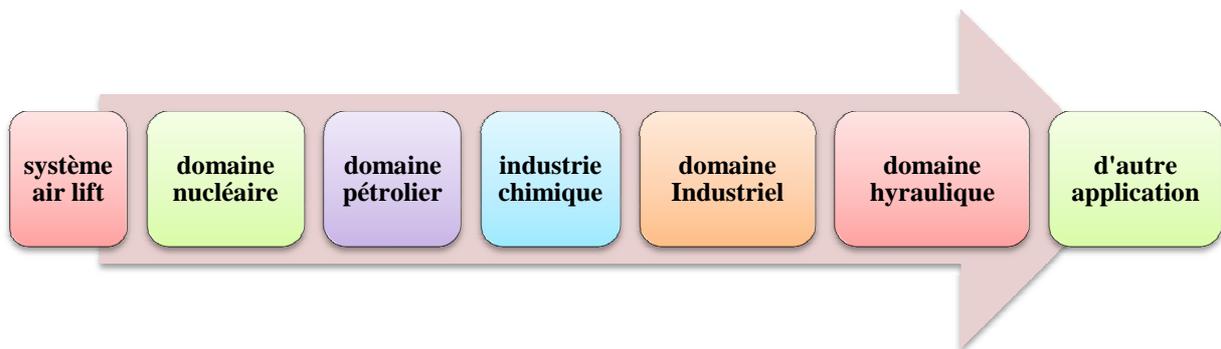


Fig. I-13: Domaines d'utilisation de l'air lift

2.1. Domaine nucléaire

L'importance de système air lift dans les réacteurs en conditions normales (pressuriser, Générateurs de Vapeur, Réacteurs à Eau Bouillante) et accidentelles (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire, accident de réactivité, accidents graves en et hors cuve).

Pour prévoir le comportement des circuits de refroidissement des réacteurs nucléaires, la connaissance approfondie de la thermo-hydraulique des écoulements diphasiques est nécessaire, il s'agit de prévoir :

- La chute de pression ΔP ;
- La répartition de vapeur ;
- Les températures des parois.

a. Réacteurs nucléaires

Description de Système de levage

Le système de refroidissement est ce qui nous intéresse le plus, car le ralentissement des produits de fission par la matière environnante, l'absorption des rayonnements et le ralentissement des neutrons par le modérateur sont accompagnés par un dégagement de chaleur. Cette énergie calorifique, évacuée à l'aide d'un fluide de refroidissement, peut être récupérable partiellement sous forme d'énergie mécanique ou électrique. [2], [30]

Il existe plusieurs types de réacteurs nucléaires refroidis à l'eau : les réacteurs bouillants et les réacteurs à eau sous pression (REP ou PWR).

a.1. Réacteurs à Eau Bouillante

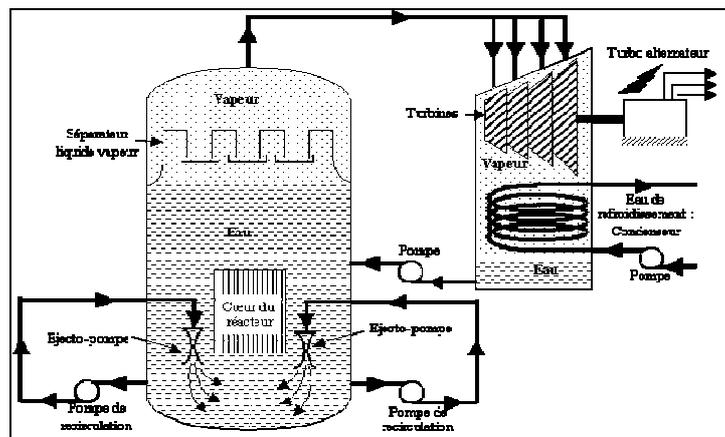


Fig. I-14: Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau bouillante (BWR)

a.2. Réacteurs à Eau Pressurisée

Le circuit de refroidissement assure le refroidissement du condenseur. L'eau est refroidie par un courant d'air dans une tour aéroréfrigérante d'où une petite partie (1,5 %) de l'eau s'échappe en vapeur en forme de panache blanc. L'eau de refroidissement peut aussi être échangée directement avec un fleuve ou la mer.

Description de Système de levage

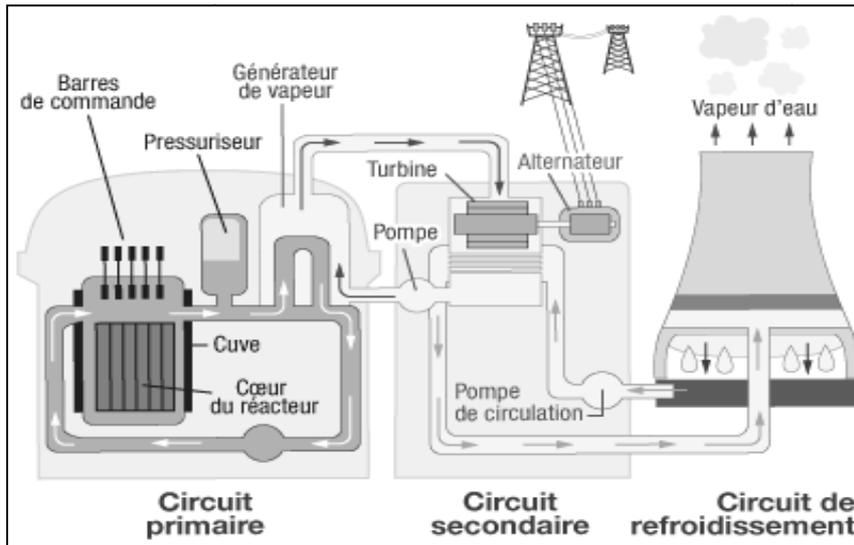


Fig. I-15: Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée (PWR)

b. Centrale thermique

De la même manière que les centrales nucléaires, le fonctionnement d'une centrale thermique se divise en quatre étapes : un combustible est brûlé (charbon, fioul, gaz naturel et gaz hauts fourneaux) et fournit de la chaleur dans un générateur de vapeur où l'eau est vaporisée sous pression. La vapeur est alors "détendue" dans une turbine, ce qui signifie qu'elle passe d'une haute pression initiale (165 bars) à une basse pression (50 millibars). La détente de la vapeur provoquée par cette baisse de pression permet d'entraîner la turbine et l'alternateur qui produit l'électricité. La vapeur est ensuite liquéfiée dans un condenseur puis recyclée.

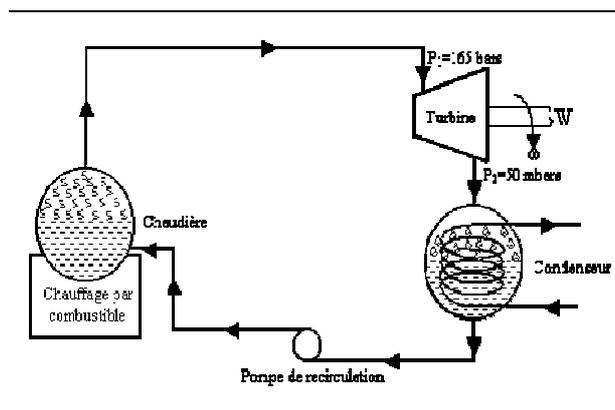


Fig. I-16: Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique

2.2. Industrie chimique

Description de Système de levage

Les colonnes à bulles possèdent de nombreuses applications dans les industries chimiques, agroalimentaires, pharmaceutiques, de refoulement des liquides agressifs (acide ou base) et liquides de forte viscosité. [1]

2.3. Industrie pétrolière

Ce système à été examiné pour la première fois lors de l'exploitation des gisements pétroliers, Son application vient après la phase primaire d'exploitation aux cours de laquelle la production est assurée par la déplétion naturelle du gisement jusqu'à épuisement ou dépression elle consiste à injecter le gaz sous pression dans la poche de gisement pour maintenir la pression en place, aider l'huile à augmenter à la surface. Cela peut améliorer des taux de la production et prolonger la durée de vie économe. [3], [2]

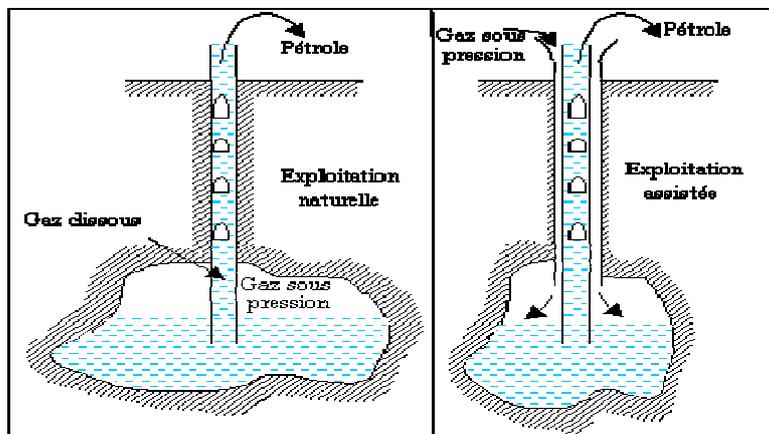


Fig. I-17: Exploitation des gisements de pétrole. [2]

2.4. Domaine hydraulique

2.4.1. Barrage

Les phénomènes d'envasement des barrages ou le taux de vase atteint en générale 40 à 80% du volume initial diminuant ainsi la capacité de retenue de plus de 50% et réduisant par la suite la durée de vie des barrages.

L'utilisation de système air lift est le procédé idéal pour l'évacuation des vases par sa facilité de mise en œuvre. [30]

2.4.2. Captage d'eau

Air lift est incluse dans le captage dans le domaine d'alimentation d'eau ,pour la production d'eau .

Description de Système de levage

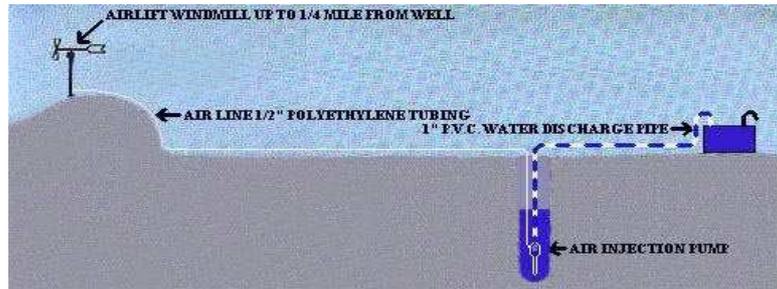


Fig. I-18: Production d'un puits d'eau

2.5. Traitement des eaux usées

a. Dessableurs

a.1. Dessableur circulaire

Le sable se dépose sur un radier incliné (cône) et se déplace par effet hydraulique pour chuter dans une trémie centrale de stockage et reprise. Le sable collecté est extrait par un émulseur à air de type air lift et envoyé vers le classeur à sable.

Les sables sont relevés par un dispositif d'air lift alimenté par un compresseur à réservoir, il s'agit d'un détecteur de turbidité donnant une indication sur la teneur en matière d'origine minérale ou organique.

La séparation des matières minérales et les matières organiques se fait par un système d'insufflation d'air ou aération à moyennes bulles. L'air insufflé est favorisé par effet de la turbulence.

La séparation des matières organiques agglutinées aux particules de sable et assure la flottation plus aisée de graisse.

L'aération à moyenne bulle est utilisée dans le cas de la séparation de graisse. Le but est donc d'accélérer à la fois la séparation et la flottation.

a.2. Dessableur rectangulaire

L'air insufflé provoque une rotation dans le plan vertical du liquide, créant une vitesse constante de brassage perpendiculaire à la vitesse d'écoulement beaucoup plus faible. L'air favorise par son agitation la séparation des matières organiques et minérales. Les sables déposent dans une zone moins troublée et sont raclés vers un poste de réception ou repris directement par pompes suceuses. L'extraction peut alors s'effectuer du poste de réception vers le lieu de traitement.

Description de Système de levage

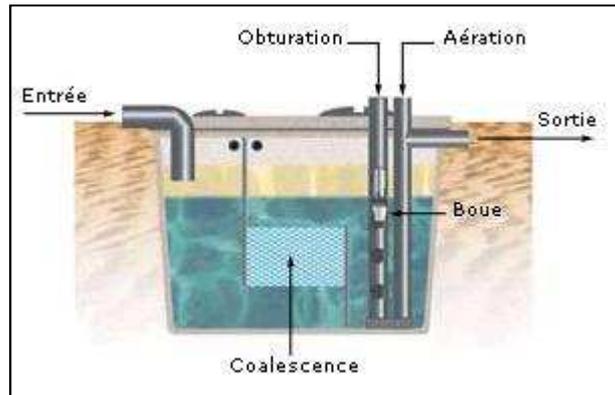


Fig. IV-19: Dessableur

b. Bioréacteur

Il Nécessite un grand transfert de matière et un bon mélange pour la recirculation des boues du clarificateur vers le bioréacteur dans le cas des boues activées car la hauteur d'eau à remonter est généralement faible (de l'ordre de 10 à 80 cm). [21]

L'agitation doit assurer un bon transfert de matière et de chaleur tout en préservant l'intégrité des cellules.

b.1. Les différents types d'agitation :

- Agitation pneumatique : circulation d'air ou air lift, (a) ;
- Agitation par pompage et recirculation : fermenteur à jet (b) ;
- Agitation mécanique : est un agitateur rotatif améliore le transfert en oxygène et faisant circuler et en divisant les bulles de gaz introduites dans le bioréacteur (c).

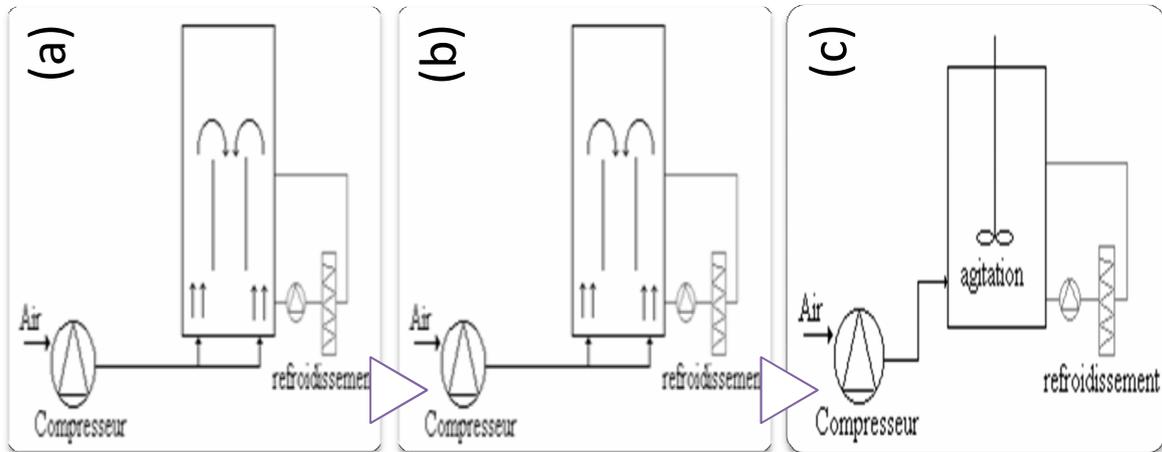


Fig. I-20: Différentes agitations

b.2. Circulation de l'air-lift

- l'air doit être introduit sous pression à l'aide d'un compresseur ;
- le travail en conditions stériles impose une stérilisation de l'air entrant dans le bioréacteur par filtration.

c. Réacteur air lift

Réacteur air lift est essentiellement axé sur l'hydrodynamique qui est un facteur clé et joue un rôle très important sur ses performances. [22]

Les réacteurs air lift comportent deux zones, dont l'une sert à injecter le gaz provoquant une différence de rétention gazeuse entre les deux compartiments et engendrant une circulation du liquide.

L'air lift est constitué de deux compartiments principaux :

- La jambe montante ou Riser.
 - La jambe descendante ou Downcomer.
- ▶ Riser : Le gaz est injecté en bas de cette section, la circulation du gaz et du liquide est ascendante.
 - ▶ Downcomer : C'est une section parallèle au riser, elle est en contact avec ce dernier en bas et en haut du réacteur, les circulations du gaz et du liquide sont descendantes. Une partie des bulles de gaz formées au riser quitte le liquide par la surface libre, et donc le downcomer contient moins de gaz que le riser.

Description de Système de levage

La force motrice de l'écoulement est due à la différence de densité entre le riser et le downcomer, cette différence génère le gradient de pression nécessaire pour la recirculation du liquide.

c.1. La structure de réacteur air lift

On distingue deux types de réacteurs air lift selon leur structure :

- Air lift à boucle externe :

Pour ces réacteurs, le riser et le downcomer sont séparés et connectés par des sections horizontales en haut et en bas. Le liquide monte dans la colonne où on injecte le gaz et descend dans l'autre.

La séparation du gaz se fait facilement grâce à un séparateur, situé en haut entre les deux colonnes.

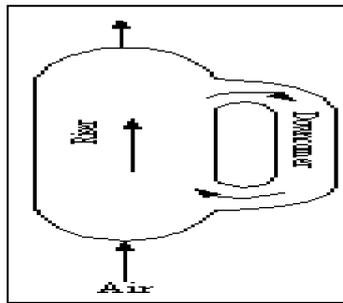


Fig. I-21 : Air lift à boucle externe

- Air lift à boucle interne :

Il en existe plusieurs :

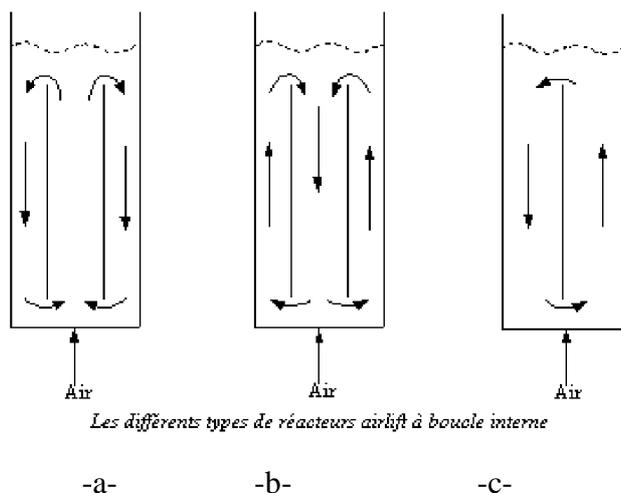


Fig. I-22: Air lift à boucle interne

a) L'injection du gaz est dans la colonne interne.

- b) L'injection du gaz est dans la colonne externe.
- c) Les deux compartiments du réacteur sont séparés par une plaque.

2.6. Domaine industriel

L'industrie automobile et aéronautique cherche à maîtriser les phénomènes de combustion au sein de leur moteur,

En combustion aérobie, la phase continue est composée d'air, et la phase dispersée est formée de gouttes de carburant liquide

Le jet liquide continu issu des injecteurs sera désintégré en ligaments (fragmentation primaire) puis, sous l'effet des forces aérodynamiques, en un brouillard de gouttes (pulvérisation secondaire). Ensuite, au sein de ce brouillard, les gouttes interagissent (coalescence), tout en étant transportées par l'écoulement gazeux (dispersion turbulente). En aval, lorsque la densité de gouttes devient plus faible, le comportement de ces dernières se rapprochera de celui d'une goutte isolée. On pourra alors considérer le mouvement d'une goutte, en particulier sa dispersion par les structures turbulentes, son évaporation, l'interaction avec une paroi et la pulvérisation secondaire par les forces aérodynamiques. [15]

2.7. D'autre domaine d'application

2.7.1. Aération des lacs

L'augmentation de l'oxygène relativement petite se produit à travers diffusion directe des bulles. Cette technique de l'aération est quelquefois connue sous le nom air lift de circulation, depuis que les eaux inférieures sont soulevées à la surface de lac à travers l'action de l'air injecté.

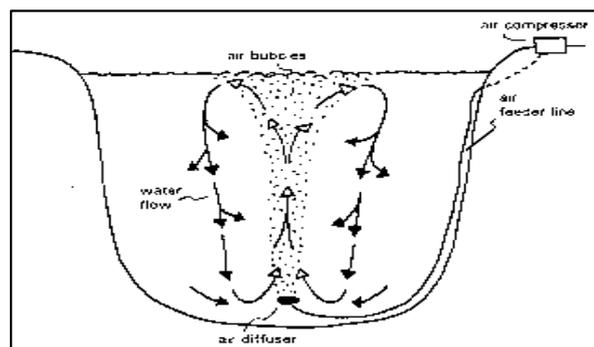


Fig. I-23 : Système de recirculation d'un lac

2.8.2. Système d'aquaculture :

L'Air lift peut être un élément clé dans l'optimisation de système d'aquaculture. [17]

Description de Système de levage

- Les systèmes air lift peuvent être un chemin fiable, effectif et rentable en créant la recirculation de liquide car il doit bouger de façon continue, pour augmenter la survie des poissons ;

-Études par Reinemann (1987), et du Turc (1991), et d'autres indiquent que l'usage de la pompe d'air lift est substantiellement plus d'énergie effectif pour l'eau en mouvement sous conditions du bas-tête que pompes centrifuges ; [3], [11]

-Les filtres d'aquarium qui ont des bulles d'air montent dans une conduite verticale pour tirer arrosez à travers ces filtres ;

-Minimiser la stratification dans les opérations de l'aquaculture. [18]

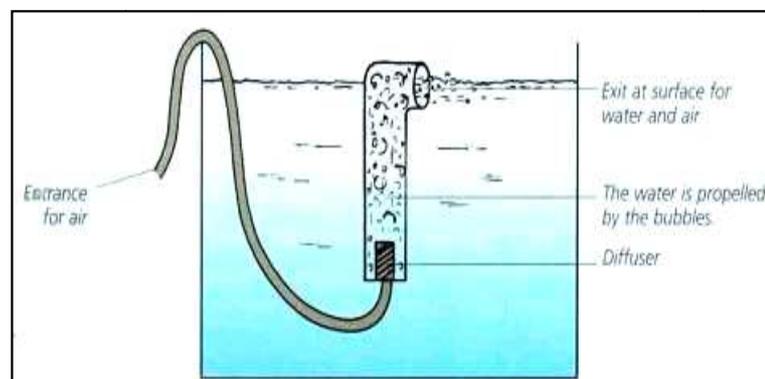


Fig. I-24: Aquarium par technique air lift

- Système air lift soulève doucement les homards du fond océanique en haut au bateau sans être fait du mal dans le processus. L'air lift est une technique plus simple est constituée d'une conduite verticale avec une pierre de l'air qui se trouve en bas.

- L'étang et le canal de l'écoulement devraient complètement être égouttés. La promenade hydraulique est combinée quelquefois avec les promenades électriques où mécanique. Les canaux de l'écoulement ouverts sont proposés d'être construit dans ces systèmes parce que les poissons ont une tendance à rester à l'intérieur de la conduite clandestine sombre, même si les conditions ne sont pas bons, le poisson hors de la cuvette de la prise est un processus critique parce que ils sont séparés de leur moyen vivant naturel: par conséquent, la manutention douce est exigée. Ce processus doit de plus être intéressant avec la conduite dans la cuvette de la prise et avec assortir et transporter. Les appareils du levage différents ont été développés pour moisson du poisson, mais les deux groupes majeurs sont des appareils mécaniques et hydrauliques.

Description de Système de levage

Les appareils du levage du poisson hydrauliques sont habituellement des pompes à eau qui ont été modifiées d'après les besoins spéciaux de levage. Peuvent être divisées en trois groupes, comme suit:

- Pompes des poissons centrifuges ;
- Pompes de l'ascenseur de l'air ;
- Aspirateur.

Même les grands poissons peuvent être soulevés sans dégât.

La boîte du filtre est soulevée utiliser une série de quatre tubes du pont aérien. Eau entre les tubes du fond et laissez passer à travers une chambre où l'air est mélangé. Le changement dans la densité de l'eau, ensemble avec le dessin physique des tubes, résultats dans l'existence d'eau à soulevé. Quand il atteint le sommet du réservoir, l'eau décharge dans le réservoir. [10]



Fig. I-25: Aération des poissons

3. Pompage par air lift

Cette technique a été inventée par Carl Loscher à la fin du dix-huitième siècle 1982, et l'étude par Reinemann (1987), Turc (1991), et d'autres indiquent que le pompage par la technique air lift est substantiellement à plus d'énergie effective. [3], [19]

3.1. Principe de fonctionnement

Description de Système de levage

Le système de pompage par la technique Air-lift fonction comme une machine hydraulique utilisant l'air comme une source d'énergie renouvelable, cet air est généralement compressé par un compresseur. [22]

La pompe d'air lift est un dispositif qui se base sur la flottabilité produite par l'entraînement des bulles de l'air pour soulever le liquide. [19], [26]

Les pompes d'air lift sont des appareils simples se compose généralement d'une évacuation verticale ou une conduite éjecteur immergé dans la masse de liquide à pomper. Une conduite d'air séparée est inséré dans le tuyau éjecteur une courte distance de son extrémité inférieure. L'air est ensuite introduit dans la colonne d'eau dans le tuyau éjecteur à une pression supérieure à celle de la pression de liquide dans le tuyau. La gravitation provoque alors un corps de bulles d'air à monter dans le tuyau éjecteur en raison de la faible densité de l'air. Cette colonne de bulles d'air transporte le liquide environnante avec elle par l'inertie ainsi que forcer le liquide au dessus de se déplacer vers le haut.

Comme le liquide se déplace vers le haut, il crée un vide qui aspire le liquide du puits dans le tuyau éjecteur donc il prend sa place. Cela crée un mouvement constant vers le haut de liquide dans le tuyau qui représente le mécanisme de pompage de la pompe à air lift. Le volume du processus de pompage peut être contrôlée en réglant la pression de l'air introduit qui influe également sur la «tête» que la pompe est capable de produire. La tête du conduite se réfère à la distance verticale que la pompe est capable de déplacer le liquide au-dessus du niveau de l'eau du puits.

Le mélange d'air-eau est moins dense par conséquent, il est déplacé par les alentours d'eau de plus haute densité.

Le premier niveau détermine la pression dans laquelle le compresseur doit fournir initialement l'air à la pompe pour qu'elle fonctionne.

Le deuxième niveau affecte des paramètres de l'opération (écoulement d'eau, submersion, etc.), et détermine la pression à laquelle la pompe doit fournir air pendant conditions du état-stable. [3]

Description de Système de levage

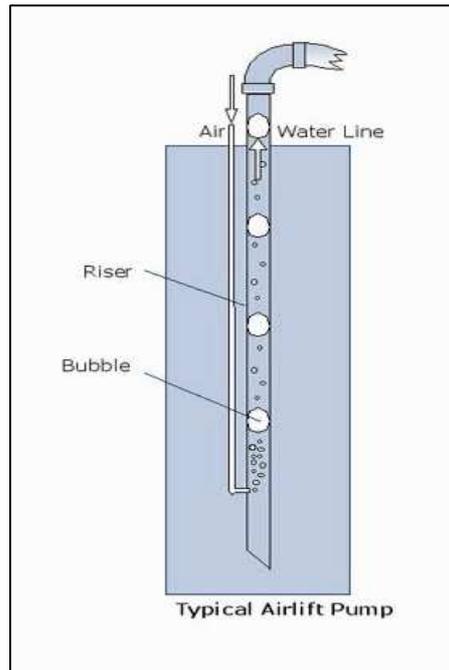


Fig. I-26: Système de pompage par air lift. [26]

Avantages de système air lift :

- Simplicité de construction de système ;
- Manque des problèmes de l'entretien, Particulièrement utile dans les urgences pour hauteur très profond ;
- Les pompes d'air lift peuvent être utilisées avec facilité pour le pompage des puits tordus et puits avec le sable et d'autres impudicités ;
- Pas de risque d'abrasion de la pompe (puits sablonneux, des fouilles archéologiques en mer) ;
- Les coûts de l'entretien les plus bas ; [27]
- Réduire le nombre de centrales électriques, machinerie ; [28]
- Capacité de résister entraver, petit espace des exigences, adoucissez de règlement du taux du courant ;
- Sûreté et stabilité du fonctionnement ; [31]
- Assure un fonctionnement à long terme.

Inconvénients de système air lift :

- Coût de fonctionnement: Souvent la quantité d'air à compresser est relativement importante par rapport au débit de liquide pompé;
- Ce système de pompage n'est adapté que si la hauteur manométrique totale (HMT) est faible ;

Chapitre 7

Description de Système de levage

-On retrouve nécessairement beaucoup d'air dans le liquide pompé, ce qui peut parfois être une problématique en fonction de l'usage requis. Par exemple, en station d'épuration, en amont d'un bassin anaérobie ;

-Succion faible ;

-Taux du courant instable ;

-Obstruction fréquente ;

-Contrôle difficile du courant ;

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de mettre en évidence la position de ce procédé de pompage par rapport aux autres déjà existant. Tout en basant sur ses avantages et inconvénients.

On a conclu qu'on peut rencontrer le système air lift dans plusieurs domaines.

Chapitre II

Généralité sur les écoulements diphasique

L'étude des écoulements diphasiques est un sujet de recherche fondamental en mécanique des fluides. [20]

Les écoulements diphasiques peuvent être classés selon les phases en présence (liquide, solide, gaz ou plasma (gaz ionisé)) où selon la distribution spatiale des interfaces. Pour le premier cas, les combinaisons possibles sont les suivantes :

- mélange de deux liquides non miscibles (échangeurs à contact direct par exemple) ;
- mélange solide liquide (transport de boue, etc.) ;
- mélange gaz solide (transport pneumatique) ;
- mélange gaz liquide (ébullition dans les réacteurs nucléaires). [2]

Ces régimes d'écoulement ont une forte influence sur les paramètres hydrodynamiques et de transferts de matière et de chaleur.

1. Modèles géométriques

1.1. Régime d'écoulement

Les courants du gaz-liquide sont les plus complexes, depuis qu'ils combinent les caractéristiques d'une interface déformable et la compressibilité d'une des phases. Pour les courants donné des deux phases dans un canal donné, la distribution de l'interface du gaz-liquide peut prendre chacun d'un nombre infini de formes possibles selon le volume d'air injecté dans la conduite d'eau, ces formes peuvent être classées dans les types de distribution de l'interface, appelés communément régimes du courant ou modèles du courant. Les discussions détaillées de ces modèles sont données par Hewitt (1982), Whalley (1987) et Dukler et Taitel (1986).

Le passage d'un régime d'écoulement à un autre dépend de quantité de gaz dans le liquide qui a fait l'objet de plusieurs recherches. [19]

1.1.1. Régime à bulles

Apparaît pour une quantité de gaz relativement faible mélangé au liquide. La phase gazeuse est distribuée de manière uniforme sous forme de petites bulles discrètes dans la phase liquide continue.

Écoulements diphasiques

1.1.2. Régime à poches

En augmentant le débit de gaz, les bulles se réunissent pour donner lieu à des poches séparées par des bouchons de liquide de section voisine de celle de la conduite.

La forme de front des poches de gaz sont quasi-hémisphérique alors que le culot à une forme plat.

1.1.3. Régime à Churn (écume)

C'est un stade avancé de l'écoulement à bulle et à poche, il se produit à des vitesses du gaz très hautes, les poches de gaz sont fortement distribuées et le film tombant présent de fortes discontinuités d'épaisseur, par conséquent, le caractère aléatoire semble beaucoup plus prononcé. Et l'écoulement à film tombant : dans ce cas le liquide s'écoule le long des parois sous forme de film épais, au centre de la conduite, on a un courant de gaz.

1.1.4. Régime annulaire

Le gaz circule à grande vitesse au centre de la conduite et provoque la formation d'un film liquide ondulé à la paroi avec une vitesse basse.

Les régimes rencontrés dans les courants verticaux sont illustrés dans la fig. II-1.

a. Conduite verticale

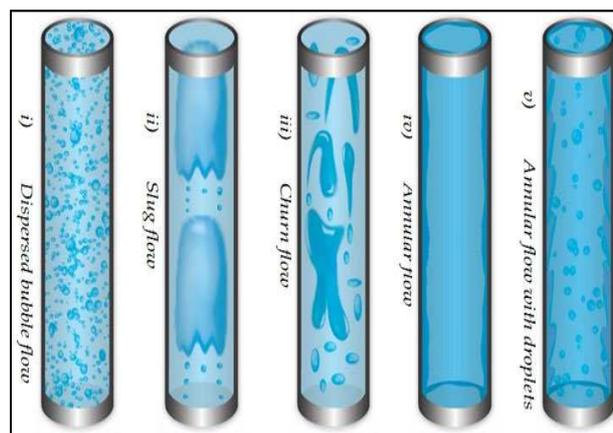


Fig. II-1 : Régime d'écoulement diphasique vertical

Écoulements diphasiques



Figure 7.2. Bubble flow

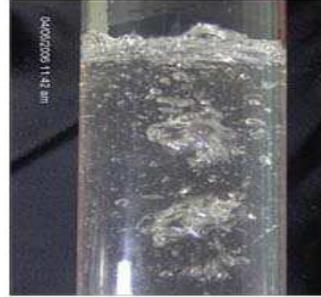


Figure 7.4. Slug flow



Figure 7.3. Churn flow



Figure 7.1. Annular flow

Fig. II-2: Régime d'écoulement diphasique en conduite vertical (images réels)

b. Conduite horizontale

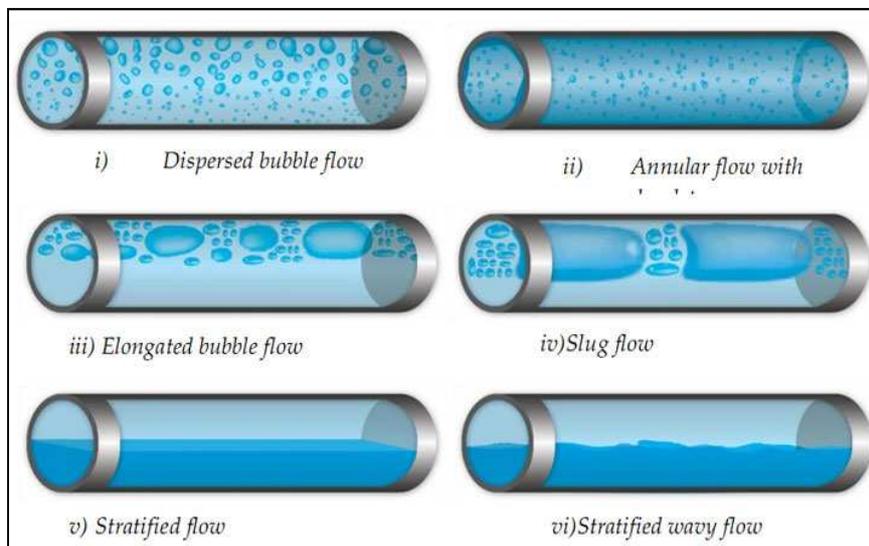


Fig. II-3: Régime d'écoulement diphasique en conduite horizontale

Écoulements diphasiques

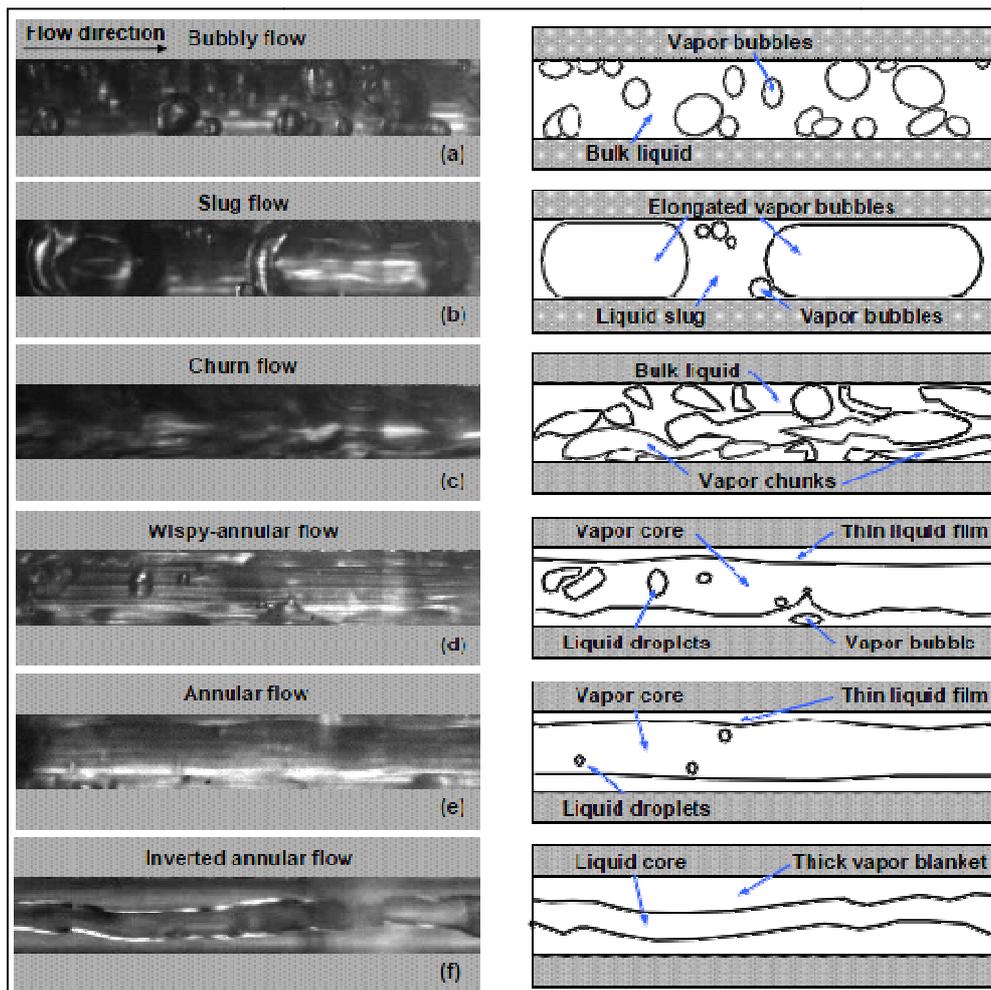


Fig. II-4 : Différents régimes d'écoulement diphasique

c. Conduite inclinée

Quand l'écoulement diphasique a lieu en conduite inclinée, son comportement change considérablement, et le volume occupé par le liquide « liquid hold-up » devient un paramètre très important, à titre d'exemple quand l'inclinaison s'élève jusqu'à 5° et que l'écoulement est ascendant, la phase liquide possède un comportement similaire à celui d'une vague en mer et si la vitesse superficielle du gaz augmente alors le hold-up liquide augmente.

A des angles d'inclinaison plus importants, de grandes poches de gaz se créent et le liquide tend à se renverser et ainsi s'écouler vers l'arrière, c'est l'impression que l'on a dans ce type de situation. Les diagrammes de la Fig. II-5 indiquent comment l'écoulement change avec l'augmentation croissante de la vitesse superficielle du gaz.

Écoulements diphasiques

	Écoulement monophasique en pente
	Écoulement type bouchon à faible vitesse de gaz
	Écoulement type bouchon à vitesse de gaz moyenne
	Écoulement pulsé à vagues à forte vitesse de gaz
	Écoulement avec expulsion de liquide

Fig. II-5: Écoulements en conduite inclinée en fonction de la vitesse superficielle du gaz. [13]

Les paramètres qui gouvernent l'événement d'une configuration du courant donné sont nombreux et il paraît désespéré pour essayer de présenter toutes les transitions parmi ces plusieurs paramètres, on peut sélectionner les courants, taux volumétriques de chaque phase, la pression, le flux de la chaleur au mur, les densités et viscosités de chaque phase, la tension de la surface, la géométrie de la conduite, l'angle de la conduite, la direction du courant (de bas en haut, descendant, concourant, contre-courant), la longueur d'entrée, le type d'injection. Les deux derniers points sont toujours de l'importance extrême et ils doivent garder dans l'esprit qu'une carte du courant est proposée pour les conditions donné et qu'il doit être utilisé pour les mêmes conditions. [19]

1.2. Carte d'écoulement

La carte est une représentation graphique bidimensionnelle des domaines d'existence des différents régimes. Elle donne une description physique d'un écoulement diphasique dans une conduite à diamètre et inclinaison donnés selon les valeurs de débits de gaz et de liquide. On porte en abscisse le flux de gaz et en ordonnée le flux de liquide.

La première carte fut celle de Baker (1954) proposée pour un écoulement horizontal.

Ces cartes sont différentes selon les auteurs. Tout d'abord, il n'existe pas un consensus sur le système de coordonnées qui les définit, c'est l'expérimentateur qui choisit ces coordonnées parmi les variables de l'écoulement gaz liquide. De plus, les frontières entre les différents régimes n'ont jamais été bien définies et les zones de transition sont relativement étendues.

Écoulements diphasiques

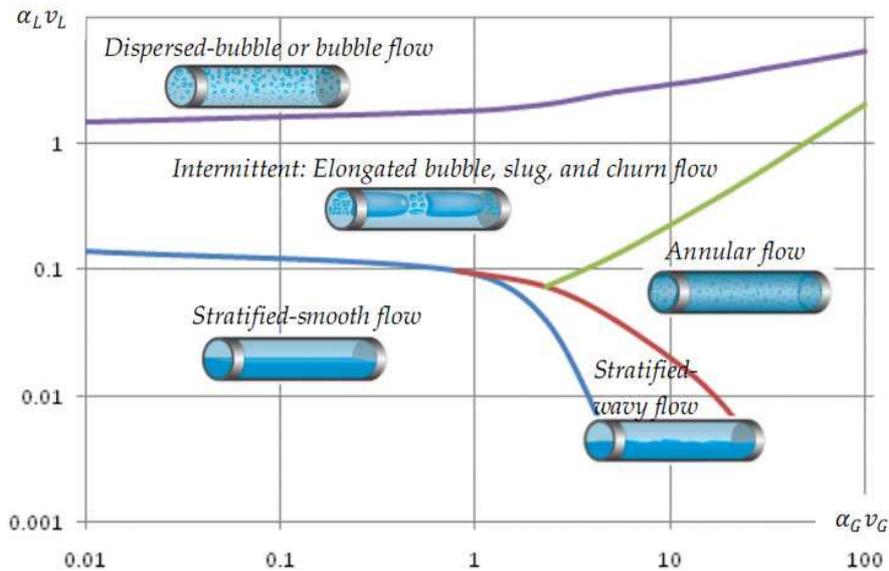


Fig. II-6 : Carte d'écoulement diphasique

1.2.1. Explication de carte

Lorsque les débits de gaz et de liquide sont faibles, l'interface se présente sous la forme d'une surface continue séparant les deux phases. C'est un écoulement à phases séparées. Le liquide est situé en dessous du gaz à cause de la gravité.

La forme de l'interface est contrôlée par la compétition entre les forces d'inertie qui tendent à la déformer (champ des vagues) et les forces de gravité et de tension superficielle qui tendent à la maintenir plane.

Même structure d'écoulement que l'écoulement stratifié sauf que les forces d'inertie prédominent les forces de gravité et la tension superficielle, on se trouve en écoulement dit stratifié à vagues et dans le cas contraire, l'écoulement est appelé stratifié lisse. Dans la nature, on rencontre ce type d'écoulement en mer (formation des vagues par le vent).

Lorsque le débit de gaz est important, les forces de gravité sont fortement négligeables devant les forces d'inertie. Le liquide mouille alors complètement la paroi en formant un film annulaire autour de l'écoulement de gaz. L'écoulement reste à phases séparées.

De plus, à très fort débit de gaz des gouttes de liquide sont arrachées et entraînées par la phase gazeuse. Cet écoulement est dit annulaire à gouttes (annular dispersed).

Ce type d'écoulement est observé pour des débits de gaz et de liquide "moyen". Sa structure présente une succession de poches de gaz et de bouchons de liquide qui contiennent de petites bulles. C'est une configuration mixte entre un écoulement stratifié et un écoulement à bulles.

Lorsque le débit de liquide est important, les forces d'inertie qui s'exercent sur le gaz ont pour conséquence la formation de bulles. Cet écoulement appartient à la classe des écoulements dispersés.

Exemple : formation de bulles d'air lors de l'agitation d'une bouteille d'eau.

La gravité agit comme une force motrice en écoulement vertical et non comme une force pour stratifier les deux phases en écoulement horizontal. Cependant, les configurations sont semblables.

2. Phénomènes physiques

2.1. Coalescence

Est une condensation et un phénomène par lequel deux substances identiques, mais dispersées, ont tendance à se réunir. Ce processus est décrit par Hodgson et Woods comme suit : deux particules, où une particule et une phase continue s'approchent de plus en plus près, jusqu'à une distance δ où le film de la phase continue présent entre les deux se brisent et la coalescence se produit. [35], [27]

La coalescence est due à la rupture du film présent entre les deux bulles ou gouttes.

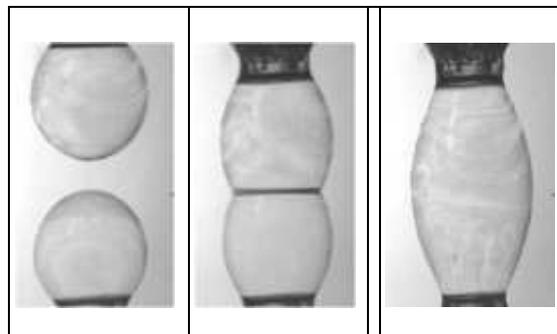


Fig. II-7: Phénomène de coalescence

Les principaux paramètres de coalescence sont:

- ▶ Dimension des particules ;
- ▶ Force de l'impact ;
- ▶ Viscosité des particules ;
- ▶ Action des forces externes ;
- ▶ Viscosité de la phase continue ;
- ▶ Champs électrostatiques.

► Remarque :

Si les vitesses relatives entre les particules sont au-delà d'un certain seuil, le choc sera fort et elles peuvent rebondir sans qu'il y ait coalescence.

2.2 Atomisation

Lorsqu'un écoulement de fluide lourd est entraîné par un écoulement de fluide léger. On retrouve par exemple ce phénomène lors d'un frottement entre un écoulement gazeux et un écoulement liquide (eau, air).

L'ensemble de ce système forme alors une zone de mélange (ou spray) entre les deux fluides.

L'atomisation peut donc être divisée en deux domaines : un régime d'atomisation primaire qui décrit la croissance des instabilités inter-faciales, la création des nappes, l'épluchage du liquide et la formation de gouttes ou de filaments primaires et un régime secondaire qui concerne la rupture des filaments (ou gouttes) en gouttelettes.

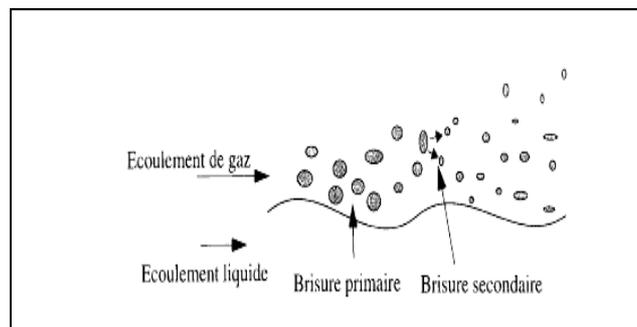


Fig. II-8: Esquisse bidimensionnelle de l'atomisation d'un écoulement liquide

2.3. Fluidisation

Si quelques particules d'une taille donnée sont mises dans un canal vertical et un fluide d'une plus faible densité qui s'écoule vers le haut à travers les particules avec une vitesse suffisamment élevée, les particules deviennent fluidisées.

Dans une fluidisation particulaire, les particules sont uniformément dispersées dans le mélange étendu. Dans quelques circonstances la fluidisation particulaire ne peut pas être réalisée et le fluide est conduit à travers des régions de basse résistance ou formes de bulles qui se lèvent par le lit plutôt comme des bulles de gaz dans les liquides.

2.4. Flooding

Le phénomène « Flooding » limite la stabilité du film liquide qui s'écoule sur les parois de la conduite dans laquelle le gaz est en mouvement ascendant.

Si un film liquide existe le long de la périphérie d'un tube vertical, il s'écoule en mouvement descendant sur les parois de la conduite sous l'influence de la gravité.

Le film liquide n'est pas lisse, mais il contient des ondulations sur sa surface qui n'affectent pas sa stabilité. Ces ondulations ne croient pas beaucoup et le film liquide peut être soutiré au bas de la conduite.

Si maintenant un gaz est introduit au bas du canal avec un débit qui augmente progressivement depuis le zéro, l'écoulement du liquide continue à exister mais devient plus perturbé jusqu'à une valeur critique du débit du gaz. Une portion du liquide va prendre un mouvement inverse ascendant le long du tube. Le phénomène qui a causé cette transition s'appelle le « flooding ».

3. Définition des paramètres caractéristiques

En écoulement monophasique, les écoulements laminaires et turbulents sont modélisés différemment. Les écoulements laminaires sont décrits par des quantités instantanées, les solutions des équations de Navier Stokes alors que les écoulements turbulents sont décrits par des quantités moyennées dans le temps ou statistiquement qui sont les solutions des équations de Reynolds (auxquelles s'ajoutent des équations de fermeture). Les paramètres qui gouvernent l'hydrodynamique d'un écoulement monophasique sont la vitesse u , la pression p et la température T .

Dans les écoulements diphasiques, les paramètres qui gouvernent l'apparition d'une configuration donnée sont les champs de vitesse des deux phases u_l et u_g et les forces. D'autres paramètres pertinents tels que les débits volumiques Q_l et Q_g , le titre massique χ et le taux de vide interviennent α afin de mieux décrire les écoulements diphasiques.

Le premier paramètre usuel est le débit volumétrique total (m^3/s) représenté par la lettre Q . C'est un paramètre facilement mesurable en phase gazeuse par des débitmètres précis (1%) et le plus souvent converti en débit massique total ρ_m (kg/s). Ainsi en introduisant les quantités propres à chaque phase, il vient :

$$Q = Q_l + Q_g \quad (\text{II.1})$$

$$M = m_l + m_g = \rho_l * Q_l + \rho_g * Q_g \quad (\text{II.2})$$

Écoulements diphasiques

$$m = \rho_m * Q \tag{II.3}$$

Où

- ▶ Q_g : Débit volumétrique de gaz ;
- ▶ Q_l : Débit liquide ;
- ▶ m_g : Débit massique de gaz, m_l celui du liquide et ρ_m la masse volumique du mélange.

Le titre massique χ est défini comme la fraction que représente la masse du gaz en rapport à la masse totale en écoulement :

$$\chi = \frac{m_g}{m_l + m_g}$$

Les valeurs du titre massique sont comprises dans l'intervalle $0 \leq \chi \leq 1$. Un écoulement monophasique liquide correspond à une valeur de titre nulle ($m_g = 0$) ; un écoulement monophasique gaz correspond à une valeur de titre unitaire ($m_l = 0$).

Chaque partie du champ d'écoulement est occupée soit par l'une ou l'autre des deux phases. On définit alors (α) la fraction d'un élément de surface occupé par la phase gazeuse.

La valeur moyenne de α , appelée taux de vide $\langle \alpha \rangle$, est donc définie par:

$$\alpha = \frac{A_g}{A} = \frac{\iint \alpha(r,t) * dr * dt}{\int dr \int dt} \tag{II.4}$$

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\int G_g * dA * dt}{\int G * dA * dt} \tag{II.5}$$

Où, G_g et G sont les flux massiques de gaz et total explicités ci-dessous.

Les autres paramètres utilisés pour définir ces écoulements diphasiques sont :

- ▶ Flux massique total par unité de section

$$G = \frac{m}{A} \tag{II.6}$$

Pour chaque phase, le flux massiques de gaz et de liquide sont respectivement définis par :

$$G_g = \frac{\chi * m}{A} \tag{II.7}$$

$$G_1 = \frac{(1-\chi)*m}{A} \quad (\text{II.8})$$

► Glissement :

Le glissement est un paramètre qui caractérise le mouvement relatif de la phase gaz par rapport à la phase liquide, il se définit en fonction des vitesses liquides et gaz par relation suivante : [4]

$$S = \frac{u_g}{u_l} = \frac{\chi}{1-\chi} * \frac{1-\alpha}{\alpha} * \frac{\rho_l}{\rho_g} \quad (\text{II.9})$$

4. Modèles cinématique

4.1. Définition d'un modèle

Le mot « modèle » désigne un système d'équations décrivant une certaine image que l'on se donne d'un écoulement diphasique réel. Considérons par exemple un écoulement eau-air à bulles dans une conduite verticale. Un tel écoulement diphasique n'est jamais strictement axisymétrique et de plus les bulles circulent à vitesse plus élevée que le liquide en raison des forces d'Archimède. En revanche, on peut décider de remplacer l'écoulement réel par une image idéalisée où l'écoulement serait supposé axisymétrique et où les vitesses des deux phases seraient égales.

Le modèle mathématique est un ensemble d'équations représentant le comportement d'un phénomène physique considéré dans des conditions données. [6]

Le choix d'une image de l'écoulement diphasique repose essentiellement sur le choix de propriétés géométriques (configuration axisymétrique, interfaces cylindriques, annulaires, etc.), de propriétés cinématiques (vitesses relatives entre les phases), ou de propriétés thermiques (conditions de saturation pour une ou deux phases).

Une large gamme de modèles a été développée en écoulement diphasique, chacun d'entre eux doit être adapté au cas particulier qui se présente. [4]

4.1.1. Modèle à phases séparées

Les modèles à phases séparées ont été spécifiquement développés pour l'étude des écoulements en milieux poreux.

Les corrélations basées sur la généralisation des lois monophasiques. Pour cela, l'une des deux phases est immobilisée et se comporte vis-à-vis de l'autre phase comme un solide immobile. Selon les auteurs, ce type de modèle peut-être complété par la prise en comptes de

Écoulements diphasiques

termes de couplages entre phases (Schulenberg et Muller 1987, Tung et Dhir 1988; Vujsic, Catton et al. 1991). [4]

► Equation de conservation de masse :

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 = \rho_1 * u_1 * A_1$$

$$m_g = \rho_g * u_g * A_g$$

► Flux massique de chaque filet est :

$$G_1 = \rho_1 * u_1 * (1-\alpha) \tag{II.10}$$

$$G_g = \rho_g * u_g * \alpha \tag{II.11}$$

► Equation de conservation de quantité de mouvement :

Plusieurs formes alternatives des équations de quantité de mouvement peuvent être tirées en manipulant les relations entre $(\alpha, \chi, u_1, u_g, G)$ et d'autres variables. Pour un écoulement stable dans une conduite circulaire par exemple on a :

$$\left(-\frac{dP}{dz}\right) = 4 \frac{\tau_p}{D} + G \frac{d}{dz} (\chi U_g + (1-\chi)U_1) + (\alpha \rho_g + (1-\alpha)\rho_1)\cos\theta \tag{II.12}$$

Equation d'énergie :

$$\frac{1}{m} \left(\frac{dq_e}{dz} - \frac{dm}{dz} \right) = \frac{d}{dz} (\chi h_g + h_l(1-\chi)) + \frac{d}{dz} \left(\chi \frac{U_g^2}{2} + (1-\chi)U_1^2 \right) + g \cos\theta \tag{II.13}$$

Avec:

$$\chi = \frac{m_g}{m_1+m_g} = \frac{G_g}{G} \tag{II.14}$$

$$\alpha = \frac{Q_g}{Q_l+Q_g} : \text{Fraction de vide.}$$

4.1.2. Modèle Homogène

C'est un cas particulier du modèle séparé il est plus simple, Le mélange est considéré comme un seul fluide équivalent. On suppose que les deux phases s'écoulent à la même vitesse dans le canal et on remplace l'écoulement diphasique par un pseudo - fluide monophasique incompressible dont les propriétés moyennes tel que (vitesse), propriétés de transport (viscosité), et les propriétés thermodynamique (température, densité) sont en

Écoulements diphasiques

fonction des propriétés de chacune des phases. Si l'une des phases est finement dispersée, les transferts d'énergie et de moment sont suffisamment rapides pour que les vitesses et les températures moyennes soient égales. [3]

Deckwer, 1992; Garcia-Ochoa et coll, 1997 ; Zahradnik et coll, 1997; Vial et coll., 2000; Ruthiya et coll., 2005) ont montré que le régime homogène est observé pour les faibles débits de gaz ($u_g < 5$ cm/s) est caractérisé par une distribution de taille des bulles uniforme et un taux de rétention du gaz radialement uniforme. Les phénomènes de coalescence et de rupture des bulles sont négligeables, la taille des bulles et la rétention gazeuse sont donc contrôlées par le type du distributeur du gaz et les propriétés physico-chimiques du système gaz-liquide. Les bulles se meuvent à peu près verticalement avec de faibles oscillations latérales et il n'y a pas de circulation liquide à grande échelle.[6]

$$U_l = U_g = U_m$$

$$T_l = T_g = T$$

Remarque :

- ▶ Ce modèle a longtemps été utilisé en génie pétrolier, dans la production de vapeur, dans les systèmes de réfrigération, etc.
- ▶ Plus les pressions et les vitesses sont élevées dans le mélange, plus ce modèle global représente d'autant mieux la réalité. [2]

Les vitesses débitantes en écoulement diphasique sont par définition données par les relations suivantes :

$$\begin{cases} u_l = \frac{Q_l}{A} \\ u_g = \frac{Q_g}{A} \end{cases}$$

- ▶ u : Vitesse débitante ;
- ▶ Q : Débit volumique ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ;
- ▶ A : Section du canal (m^2).

Notons que les deux vitesses u_l et u_g sont complètement indépendantes l'une de l'autre.

Leur définition est identique à celle donnée dans le cas monophasique. Les taux de présence de chacune des deux phases (α et S_l) n'interviennent pas dans la définition précédente. Par conséquent, il est fondamental de noter que les vitesses débitantes u_l et u_g ne

Écoulements diphasiques

peuvent en aucun cas être considérées comme une estimation, même grossière, de la vitesse réelle de chaque phase.

La valeur de la densité de flux massique total η_t est donnée par la somme des densités de flux massiques de chacune des deux phases :

$$\eta_t = \eta_l + \eta_g = \frac{m_l}{A} + \frac{m_g}{A}$$

On suppose que le fluide se comporte comme un mélange homogène dont la masse volumique et la vitesse sont constantes dans tout le tube. La masse volumique ρ_m du mélange diphasique peut alors s'exprimer en fonction du titre massique.

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{1-\chi}{\rho_l} + \frac{\chi}{\rho_g} \quad (\text{II.15})$$

Ou en fonction du taux de vide :

$$\rho_m = (1-\alpha)\rho_l + \alpha \rho_g \quad (\text{II.16})$$

La définition de la viscosité est plus délicate et on adopte, selon les auteurs, des pondérations massiques ou volumétriques. Ainsi, par exemple, celle proposée par

[Wallis, 1969] :

$$\frac{1}{\mu_m} = \frac{\chi}{\mu_g} + \frac{1-\chi}{\mu_l} \quad (\text{II.17})$$

[Ischii]:

$$\mu_m = \chi\mu_g + (1 - \chi) \mu_l \quad (\text{II.18})$$

Flux massiques des deux phases, devient :

$$G_l = (1 - \chi) * G = \frac{\rho_l * u_l * A_l}{A} = \rho_l * u_l * (1-\alpha)$$

$$G_g = \chi * G = \rho_g * u_g * \alpha$$

Dans ces expressions, les vitesses de chaque phase sont égales par hypothèse à la vitesse dite « homogène » u_m donnée par :

$$m = \rho_m * u_m * A$$

Ou encore :

Écoulements diphasiques

$$u_m = \frac{G_l + G_g}{\rho_m} = \frac{G}{\rho_m}$$

On peut réécrire le taux de vide et on obtient :

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{1-\chi}{\chi} \frac{\rho_g}{\rho_l}} \quad (\text{II.19})$$

Rappelons que lorsque l'écoulement n'est pas homogène, on a une autre expression du taux de vide qui fait intervenir le taux de glissement, et il vient :

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{1-\chi}{\chi} \frac{\rho_g}{\rho_l} \frac{u_g}{u_l}} \quad (\text{II.20})$$

Le point commun aux deux approches est que la perte de pression diphasique est toujours rapportée à la perte de pression en écoulement monophasique (liquide ou gaz).

◆ Dynamique de l'écoulement homogène

La conservation de la quantité de mouvement permet d'exprimer le gradient de pression total sous la forme:

$$\frac{dP}{dz} = -\frac{P}{A} \tau_w - \frac{m}{A} \frac{du}{dz} - \rho_m g \cos\theta \quad (\text{II.21})$$

Avec :

$$\left(\frac{dP}{dz}\right)_{fr} = \frac{P}{A} \tau_w \rightarrow \text{Le terme dû à la friction } \tau_w \text{ étant spécifique de l'écoulement.}$$

$$\left(\frac{dP}{dz}\right)_A = \frac{m}{A} \frac{du}{dz} \rightarrow \text{Le terme dû aux accélérations qui dépendent des changements de section et des variations de } \rho_w \text{ le long de la conduite.}$$

$$\left(\frac{dP}{dz}\right)_G = \rho_m g \cos\theta \rightarrow \text{Le terme dû à la gravité faisant apparaître } \rho_m$$

◆ Fermeture des frottements pariétaux

Hypothèse : $U_l = U_g = U_m \rightarrow$ Écoulement dispersés avec faible vitesse de glissement

$$\frac{\partial(\rho_l(1-R_g)U_l + \rho_g R_g U_g)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_l(1-R_g)U_l^2 + \rho_g R_g U_g^2)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\tau_{PSp}}{A} - (\rho_l(1-R_g) + \rho_g R_g)g \cos\theta$$

$$\frac{d}{dz}(\rho_m U_m^2) = \frac{d}{dz} \left(\frac{\dot{m}^2}{\rho_m} \right) = -\frac{dp}{dz} + \frac{\tau_{PSp}}{A} - \rho_m g \cos\theta \quad \dot{m} = \frac{m}{A}$$

$$\left(\frac{dP}{dz}\right)_{fr} = \frac{\tau_p S_p}{A} = -\frac{S_p}{A} \frac{1}{2} f_{pm} \frac{\dot{m}^2}{\rho_m} = -\frac{S_p}{A} \frac{1}{2} f_{pm} \rho_m U_m^2$$

Avec

$$\rho_m = \rho_g R_g + \rho_l (1 - R_g)$$

Donc :

$$\left(-\frac{dP}{dz}\right)_t = -\frac{S_p}{A} \frac{1}{2} f_{pm} \rho_m U_m^2 + g \rho_m \cos\theta = \frac{2f_{pm} \rho_m U_m^2}{D} + g \rho_m \cos\theta$$

f_{pm} : Coefficient de frottement pariétal

$$f_{pm} = \frac{16}{Re_m} \quad Re_m \leq 2000$$

$$f_{pm} = 0,079 Re_m^{-0,25} \quad \text{si } Re_m \geq 2000$$

Avec :

$$Re_m = \frac{\dot{m} D}{\mu_m}$$

$$\mu_m = R_g \mu_g + (1 - R_g) \mu_l$$

4.1.3. Modèle à flux de dérive

Le modèle à flux de dérive a une approche similaire à celle du modèle homogène à la différence que le modèle à flux de dérive prend en considération une vitesse relative entre les deux fluides.

Le modèle à flux de dérive est basé sur les équations du mélange liquide – vapeur en régime permanent. L'équation bilan d'enthalpie n'est utilisée que pour le bilan thermique.

Elle donne le titre massique de vapeur indépendamment du modèle d'écoulement diphasique. Le modèle à flux de dérive repose donc uniquement sur les équations bilans de masse et de quantité de mouvement.

4.1.4. Modèle multi fluide

Les équations de conservation sont écrites séparément pour chacune des phases, ces équations contiennent des termes qui décrivent le comportement au niveau de l'interface, ils font référence aux différents échanges qui se produisent entre les phases pendant l'écoulement.

Écoulements diphasiques

Le choix de l'approche dépendra de la disponibilité des données, plus les modèles sont complexes, plus l'information est exigée, ceci dans le but d'introduire le maximum de détails possibles sur l'écoulement et pour assurer une certaine exactitude des résultats requis.

Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'étude fondamentale des écoulements diphasiques dans le but de comprendre le fonctionnement de pompage de l'air lift.

On peut dire que les deux modèles (homogène et séparé) nous fournissent un outil appréciable pour la validation de certaines lois empiriques sur les différentes caractéristiques de l'écoulement.

Chapitre III

Etude Analytique de l'Air lift

1. Description de la phénoménologie et leurs expressions

Dans la figure (III.1) sont montrés les schémas des différentes étapes de fonctionnement de l'air lift.

L'air comprimé pénètre dans le mélangeur (2) par une conduite (1) placé verticalement, au niveau du mélangeur, la pression produite est inférieure à la pression statique, dans ce cas, l'eau de la conduite d'aspiration (3) entre dans le mélangeur et l'écoulement se produit alors dans la conduite de refoulement (4) ceci sous l'action du flux d'air comprimé puis de sa détente tout le long de cette conduite.

Au niveau du séparateur (5) s'effectue la séparation des deux fluides.

En suivant chaque étape de fonctionnement donnant les équations de mise en marche de l'air lift

► 1^{ère} étape :

Avant la mise en marche du compresseur, le mélangeur se trouve plongé sous une profondeur d'immersion géométrique h . la pression hydrostatique à l'intérieur du mélangeur est déterminée par la relation suivante :

$$P_m = \rho g h \quad (\text{III.1})$$

- ✓ h : Immersion géométrique ;
- ✓ ρ : Masse volumique du liquide.

► 2^{ème} étape :

Suite à la mise en marche du compresseur l'eau qui se trouvait dans la conduite d'air pénètre dans le mélangeur provoquant une élévation dans la conduite de refoulement d'une hauteur Δh_a .

Pression à l'intérieur du mélangeur deviendra :

$$P_{mm} = \rho g (h + \Delta h_a) \quad (\text{III.2})$$

- ✓ P_{mm} : Pression de mise en marche au niveau du mélangeur ;
- ✓ Δh_a : Hauteur d'élévation.

Avec $\Delta h_a = R \cdot Q_l^2$

- ✓ R : Résistance de la conduite de refoulement.
- ✓ Q_l : Débit moyen du liquide qui sort de la conduite d'air.

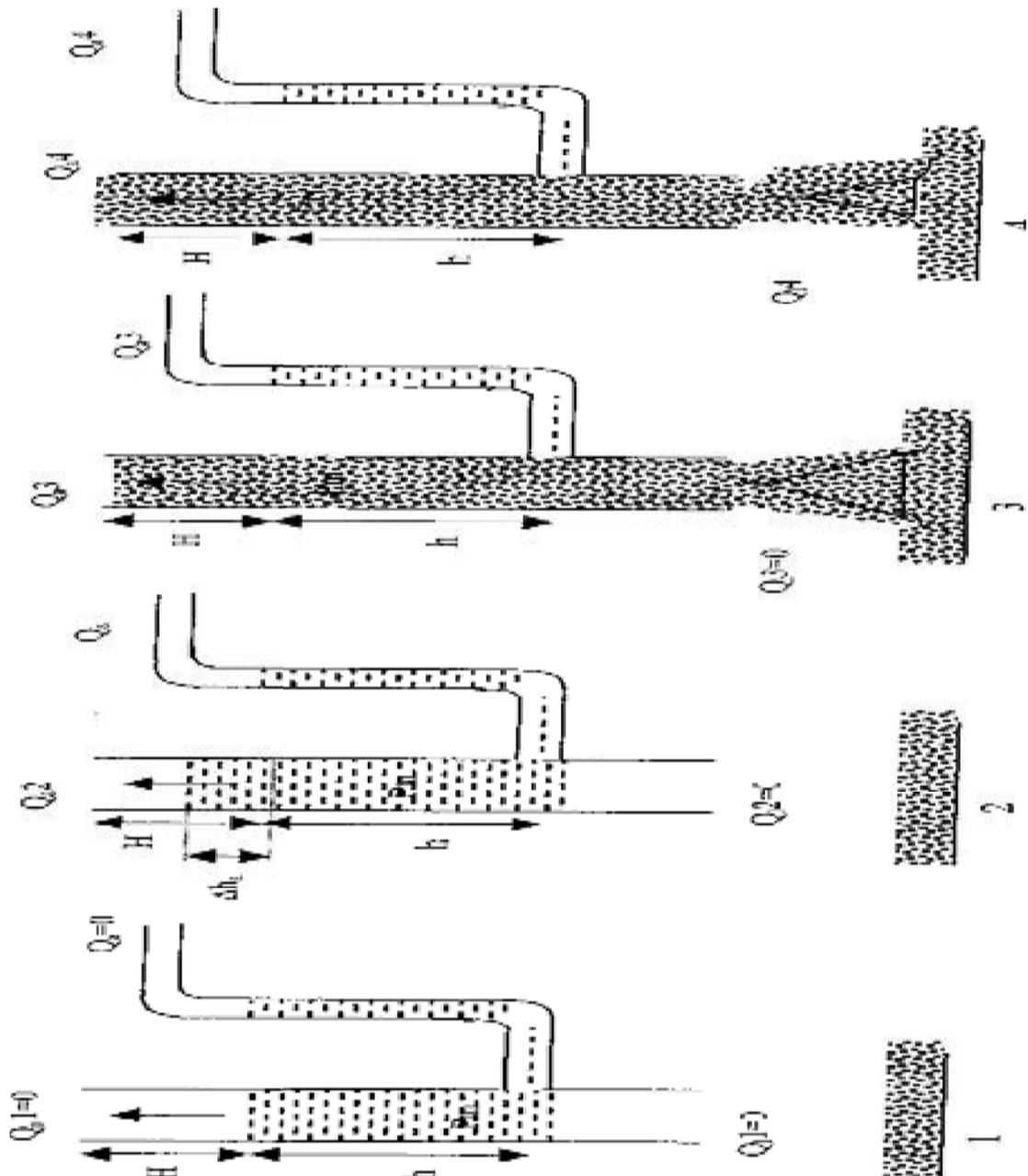


Fig. III-1: Principe de la technique air lift

Etude analytique de l'air lift

L'élévation Δh_a peut être déterminée à l'aide de l'équation de continuité en considérant le volume d'eau qui se trouve dans la conduite d'air et ce même volume déplacé dans la conduite de refoulement.

$$\Delta h_a = h \cdot \frac{d_a^2}{D^2}$$

La pression nécessaire pour que l'air pénètre dans le mélangeur, doit être au minimum égale à la pression de mise en marche.

La pression que doit produire le compresseur doit être égale à

$$P_c = P_{mm} + \Delta P_c$$

- ✓ P_c : Pression donnée par le compresseur ;
- ✓ ΔP_c : Perte de pression dans la conduite d'air.

En néglige la perte de pression dans la conduite d'air il vient :

$$P_c = P_{mm} = \rho g (h + \Delta h_a)$$

► 3^{ème} étape :

En faisant varier la pression d'air comprimé celui-ci entre dans le mélangeur, la masse volumique de l'air étant mille fois inférieure à celle du liquide, l'air monte à travers le liquide sous l'action des forces d'Archimède.

On observe ainsi la colonne du mélange gaz-liquide dont la masse volumique moyenne inférieure à celle du liquide.

La pression dans le mélangeur, dans ce cas, est une pression correspondante au barbotage : ascension de l'air sans qu'il y soit un débit liquide.

$$P_{moy.m.b} = \rho_{m.b} g (H + h) \tag{III.3}$$

- ✓ $P_{moy.m.b}$: Pression moyenne du mélange de barbotage ;
- ✓ $\rho_{m.b}$: Masse volumique du mélange de barbotage ;
- ✓ $H+h$: Hauteur de la conduite de refoulement.

$$\rho_{m.b} = \rho \cdot \frac{h}{h+H} = \rho \cdot \alpha$$

► 4^{ème} étape :

L'augmentation du débit d'air, entraîne la diminution de la masse volumique du mélange, donc la pression au mélangeur diminue et devient inférieure à la pression statique.

Etude analytique de l'air lift

Sous l'action de la différence de pression produite, le liquide entre dans la conduite de refoulement, d'où l'apparition de débit de l'air lift.

Le débit peut être déterminé en dépendance de la pression de mélange comme suit :

$$Q_l = \sqrt{\frac{h - P_{\text{mel}}/\rho \cdot g}{R}} \quad (\text{III.4})$$

On développant :

$$Q_l = \sqrt{\frac{h - \rho_{\text{mel}}(H+h)/\rho}{R}} = \sqrt{\frac{h}{R} \left(1 - \frac{\rho_{\text{mel}}}{\rho} \cdot \frac{h+H}{h}\right)}$$

Finalement :

$$Q_l = \sqrt{\frac{h}{R} \left(1 - \frac{\rho_{\text{mel}}}{\rho \cdot \alpha}\right)} \quad (\text{III.5})$$

D'après la dernière expression, on remarque une diminution de la masse volumique du mélange qui correspondante à une augmentation du débit d'air, le débit de l'air lift augmente.

Par contre lorsque la masse volumique du mélange devient celle de barbotage, le débit de l'air lift devient nul.

La masse volumique du mélange rapporté à la pression moyenne dépend de la quantité, en débit de gaz et liquide.

Cette dernière pour n'importe quelle section est donnée par :

$$\rho_{\text{mel}} = \frac{\rho \cdot Q_l + \rho_a Q_a}{Q_l + Q_a \text{ moy}} \quad (\text{III.6})$$

Sachant que le débit du compresseur suivant l'unité de volume de l'air à l'état libre est donnée par :

$$Q_a = Q_a \text{ moy} \cdot \frac{P_{\text{atm}} + P_{\text{moy}}}{P_{\text{atm}}} \quad (\text{III.7})$$

- ✓ $Q_a \text{ moy}$: Débit moyen d'air ;
- ✓ P_{moy} : Pression moyenne.

D'où :

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

$$Q_{a \text{ moy}} = Q_a \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2} \quad (\text{III.8})$$

Remplaçons cette dernière dans (II .6) on obtient :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho \cdot Q_l + \rho_a Q_a}{Q_l + Q_a \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2}} \quad (\text{III.9})$$

En divisant celle-ci par Q_l il vient :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho(1 + \frac{\rho_a Q_a}{\rho Q_l})}{1 + \frac{Q_a}{Q_l} \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2}} \quad (\text{III.10})$$

Le rapport des débits d'air et liquide est appelé débit spécifique d'air qui est le second paramètre (sans dimension) important on le note q :

$$q = \frac{Q_a}{Q_l} \quad (\text{III.11})$$

Mettons (III.11) en (III.10) :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho(1 + \frac{\rho_a}{\rho} \cdot q)}{1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2}} \quad (\text{III.12})$$

En analysant cette dernière expression, on remarque que ce second paramètre du numérateur ($\frac{\rho_a}{\rho} \cdot q$) peut être négligé, puisque la masse volumique de l'eau est environ 1000 fois plus grande que celle de l'air.

On pourra ainsi écrire :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho}{1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2}} \quad (\text{III.13})$$

Or le second paramètre du dénominateur représente le débit spécifique moyen de la conduite de refoulement de l'air lift.

$$q_{moy} = q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2} \quad (\text{III.14})$$

Remplaçons cette dernière dans (III.13)

$$\rho_{mel} = \frac{\rho}{1 + q_{moy}} \quad (\text{III.15})$$

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

En considérant que dans la conduite de refoulement l'écoulement est comme stationnaire, on peut écrire :

$$\rho g h = \rho_m g (H + h) + \rho_m g \Delta h_m \quad (\text{III.16})$$

Sachant que

$$\Delta h_m = R \cdot Q_m^2$$

✓ Q_m : Débit du mélange.

$$\rho h = \rho_m (H + h) + \rho_m R \cdot Q_m^2 \quad (\text{III.17})$$

Où

$$Q_m = \sqrt{\frac{h}{R} \cdot \frac{\rho - \rho_m / \alpha}{\rho_m}} \quad (\text{III.18})$$

D'autre part on a :

$$Q_m = Q_l + Q_{a.moy} \quad (\text{III.19})$$

Remplaçons (III.8) dans (III.19) :

$$Q_m = Q_l + Q_a \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2} \quad (\text{III.20})$$

Finalelement :

$$Q_m = Q_l \left(1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_{moy}} \right) \quad (\text{III.21})$$

D'après les formules (III.18) et (III.21) on tire le débit de l'air lift.

$$Q_l = \frac{1}{1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_{moy}}} \sqrt{\frac{h}{R} \left(\frac{\rho}{\rho_m} - \frac{1}{\alpha} \right)} \quad (\text{III.22})$$

Ou bien en utilisant (III.14) et (III.15) :

$$Q_l = \frac{1}{1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_{moy}}} \sqrt{\frac{h}{R} \left(1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_{moy}} - \frac{1}{\alpha} \right)} \quad (\text{III.23})$$

Sachant que les pertes dans l'air lift en n'importe quel point de la conduite sont données par.

$$R = \frac{8 \lambda (H+h)}{\pi^2 g D^5} = \frac{8 \lambda}{\pi^2} \frac{h}{\alpha g D^5} = \Psi \frac{h}{\alpha g D^5} \quad (\text{III.24})$$

- ✓ Ψ : coefficient de résistance hydraulique ;
- ✓ D : diamètre de la conduite de refoulement.

Mettons (III.24) dans (III.23), on obtient après transformation :

$$Q_l = \frac{1}{1+q} \sqrt{\frac{\alpha}{\Psi} \left(1 + q - \frac{1}{\alpha}\right) \cdot g D^5} \quad (\text{III.25})$$

Pour des airs lift semblables, on donne le coefficient sans dimension K_Q du débit liquide.

$$K_Q = \frac{1}{1+q} \sqrt{\frac{\alpha}{\Psi} \left(1 + q - \frac{1}{\alpha}\right)} \quad (\text{III.26})$$

D'après les expériences de HEIR : pour un régime optimal de l'air lift, le coefficient de résistance vaut :

- ▶ $\Psi = 0.078$ pour air lift court ;
- ▶ $\Psi = 0.04$ pour air lift long.

Notion optimum :

Pour une immersion relative (α) et une immersion absolue (h) données on peut tracer la caractéristique $Q_l = f(Q_a)$ en utilisant l'expression (III.25).

2. Caractéristiques énergétiques de l'air lift

La caractéristique énergétique de l'air lift est déterminée par son rendement qui est le rapport de la puissance absorbée par l'air lift sur la puissance fournie par le compresseur.

$$\eta = \frac{N_a}{N_f} \quad (\text{III.27})$$

- ✓ N_a : Puissance absorbée par l'air lift.

$$N_a = \rho_m g Q_l \left(H + \frac{V_s^2}{2g} \right) \quad (\text{III.28})$$

V_s : vitesse de sortie du jet au niveau du séparateur ;

- ✓ N_f : Puissance fournie par le compresseur.

$$N_f = Q_a P_a \text{Ln} \frac{P_m + P_a}{P_a} \quad (\text{III.29})$$

En remplaçant les expressions (III.28) et (III.29) dans (III.27) on obtient :

$$\eta = \frac{\rho_m g Q_l (H + \frac{v_s^2}{2g})}{Q_a P_a \ln \frac{P_m + P_a}{P_a}} \quad (III.30)$$

Après transformation (III.30) devient :

$$\eta = \frac{H + \frac{v_s^2}{2g}}{q h_a \ln(1 + \frac{P_m}{P_a})} \quad (III.31)$$

h_a : Hauteur de la colonne du mélange correspondant à la pression atmosphérique.

3. Coefficient spécifique de la conduite de l'air lift

Le coefficient de résistance spécifique de la conduite d'air lift (aa') est déterminé à partir du bilan de puissance pour une section quelconque :

$$P_{air\ com} = P_{sortie} - P_{entrée} \quad (III.32)$$

Ou dans l'hypothèse d'une expression isothermique de l'air, la puissance fournie par le compresseur nécessaire au refoulement est calculée comme suit :

$$P_{air\ com} = P_a q Q_l \ln\left(\frac{P_{mél}}{P_a}\right) \quad (III.33)$$

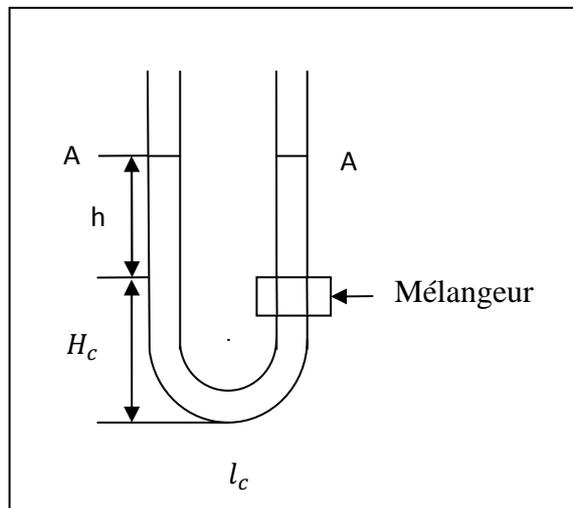


Fig. IV-2: Paramètres introduits dans le calcul de résistance spécifique

L'équation de charge totale pour la section AA est :

$$\rho_l g h + \rho_l g H_c + P_a = P_m + \rho_l g H_c + \rho_l l_c R Q_l^2 \quad (III.34)$$

$$P_m = \rho_l g h - \rho_l g l_c R Q_l^2 + P_a \quad (III.35)$$

Etude analytique de l'air lift

La puissance hydraulique du liquide à l'entrée du mélangeur de la conduite alimentation est exprimée :

$$P_{\text{entrée}} = \rho_l g h Q_l - \rho_l g R l_c Q_l^2 + P_a Q_l \quad (\text{III.36})$$

La puissance hydraulique du liquide à la sortie du mélangeur est donnée par :

$$P_{\text{sortie}} = \rho_m g (H + h) Q_m - \rho_m g R (h + H) Q_m^2 + P_a Q_m \quad (\text{III.37})$$

L'expression de résistance spécifique (aa') d'air lift :

$$aa' = \frac{P_a q + \rho_l g H - P_a q \ln\left(\frac{\rho_l g h + P_a}{P_a}\right)}{\rho_m g (H+h)(q+1)Q_l^2} \quad (\text{III.38})$$

Connaissant la résistance de la conduite d'alimentation d'air lift :

On peut tracer les courbes suivantes

- ▶ $aa' Q_l^2 = f(q)$.
- ▶ $aa' Q_m^2 = f(q)$.

4. Débit spécifique de l'air comprimé

En présence des pertes de charge, pour les air- lift réels, les débits spécifiques réels sont supérieurs que ceux théoriques.

$$q = q_{\text{th}} + q_a \quad (\text{III.39})$$

- ✓ q_a : Débit d'air (spécifique) supplémentaire à fournir à l'air lift pour vaincre les pertes de charge.

$$q_{\text{th}} = \frac{h}{h_a \ln\left(\frac{P_a + P_m}{P_a}\right)} \frac{1+\alpha}{\alpha} \quad (\text{III.40})$$

De là on peut formuler d'une autre façon le rendement de l'air lift par:

$$\eta = \frac{q_{\text{th}}}{q}$$

Il reste à déterminer le débit spécifique (q) ce dernier dépend de alpha.

Selon KOZEREASKI et à partir des résultats expérimentaux on obtient la fonction $q=f(\alpha)$, en devisant l'air lift en deux catégories :

- ▶ Air-lift long :

$$h = [20 \dots\dots 120] \text{ m.}$$

Etude analytique de l'air lift

Avec $0.15 < \alpha < 0.5$, $q_l = 60 \exp(-9.81\alpha)$

► Air-lift court :

$h = [4 \dots 20]$ m.

Avec $0.15 < \alpha < 0.5$, $q_c = 0.767 \cdot \alpha^{-2,2}$

Les courbes :

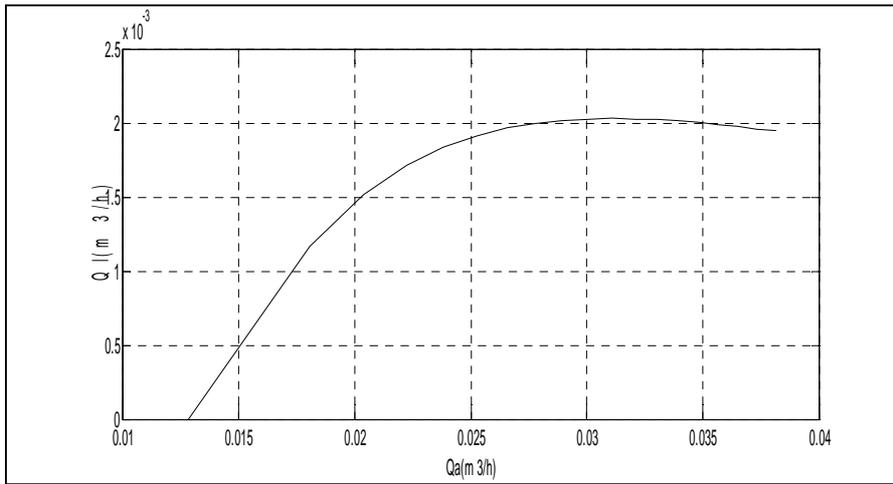


Fig. III-3: Variation de débit liquide en fonction de débit d'air ($\Psi=0.078$)

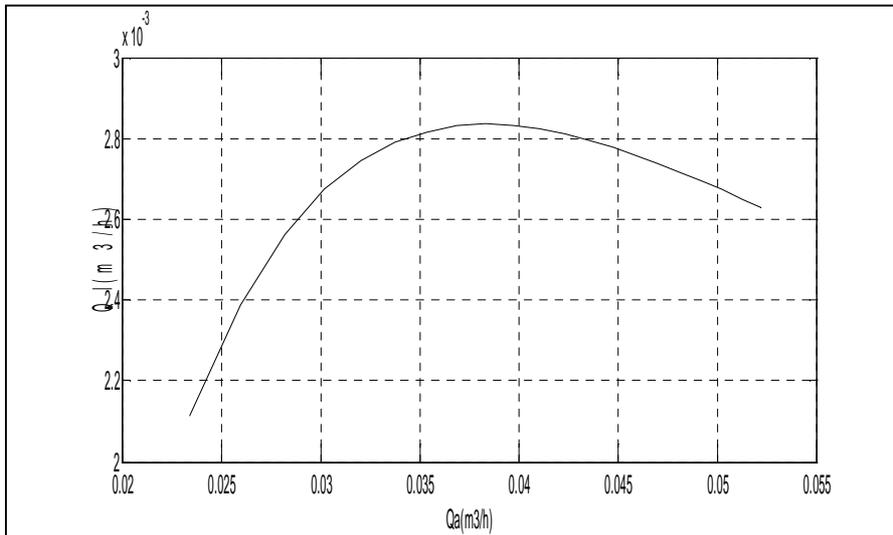


Fig. III-4 : Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)

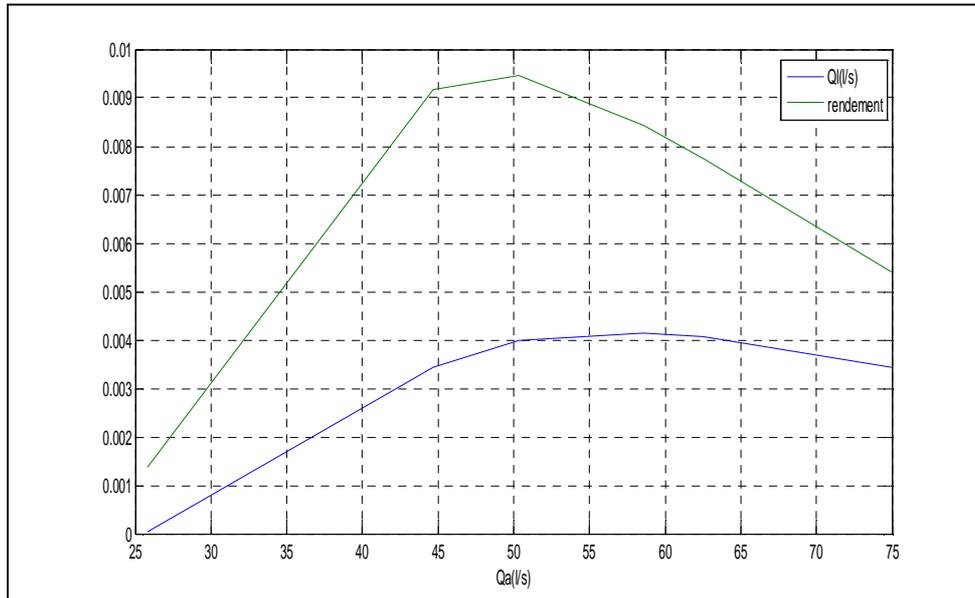


Fig. III-5 : Courbe de rendement en fonction de débit d'air

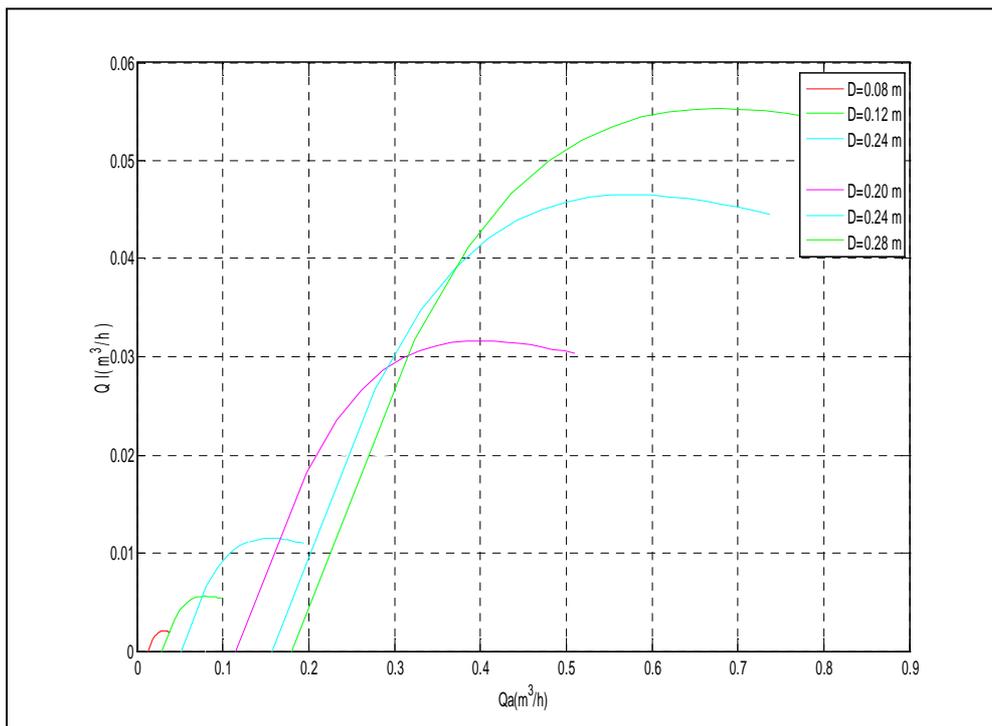


Fig. III-6: Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs de diamètre D

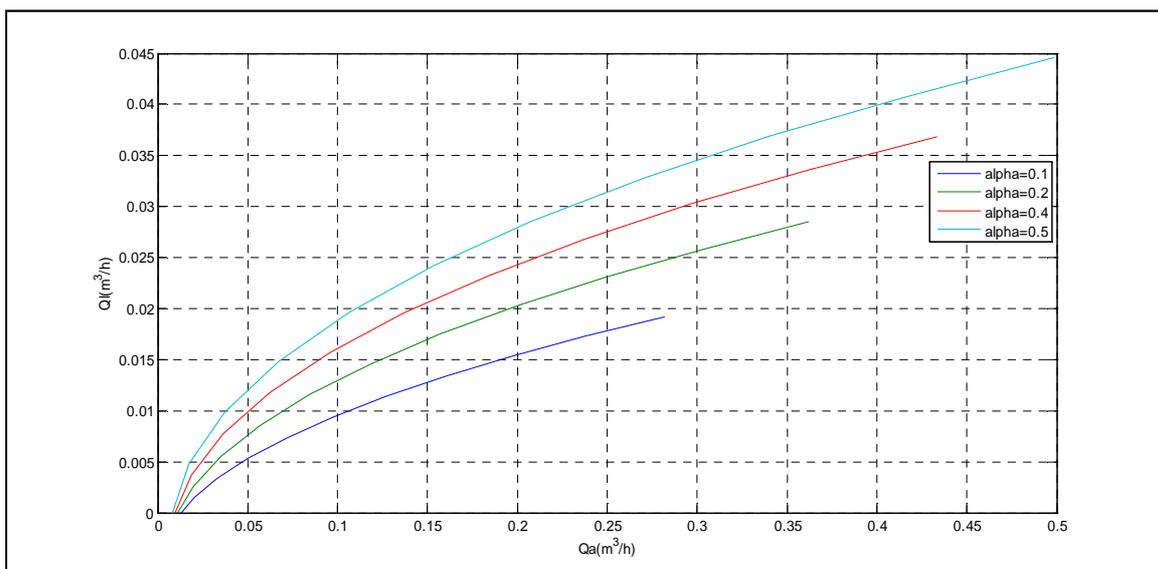


Fig. III-7: $Q_l = f(Q_a)$ pour différente valeur d' α (air lift court)

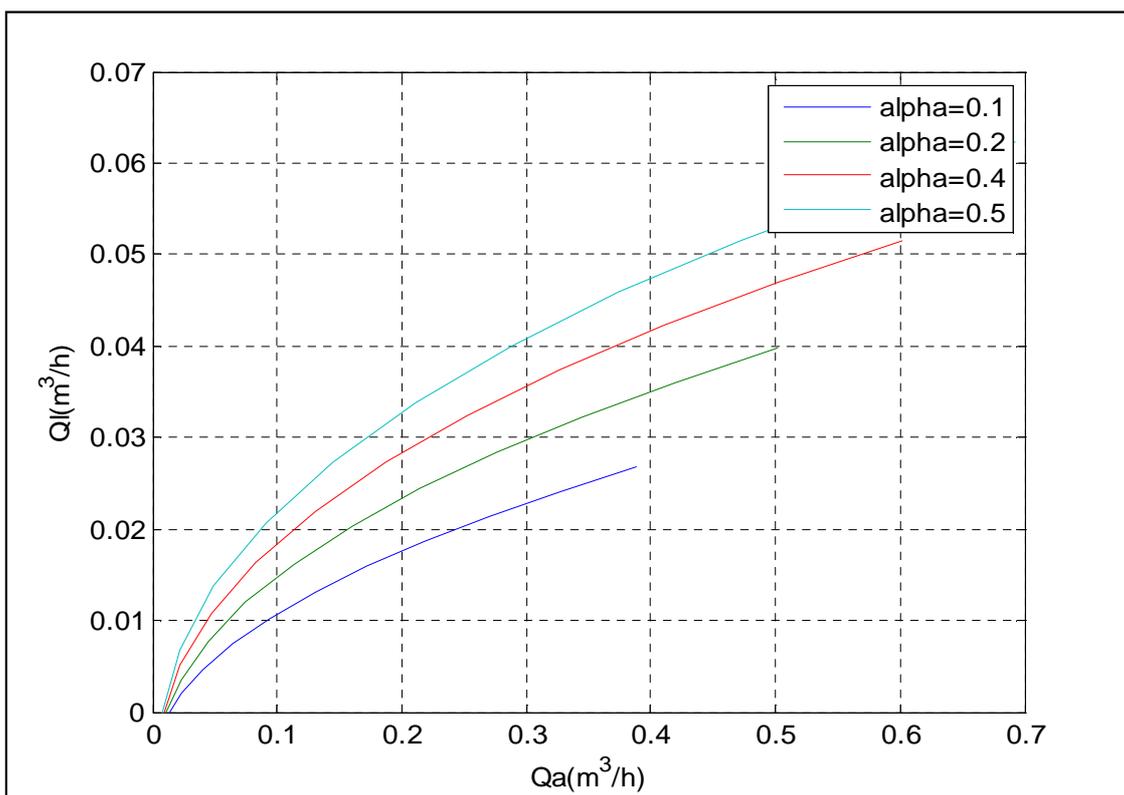


Fig. III-8: $Q_l = f(Q_a)$ pour différente valeur de α (air lift long)

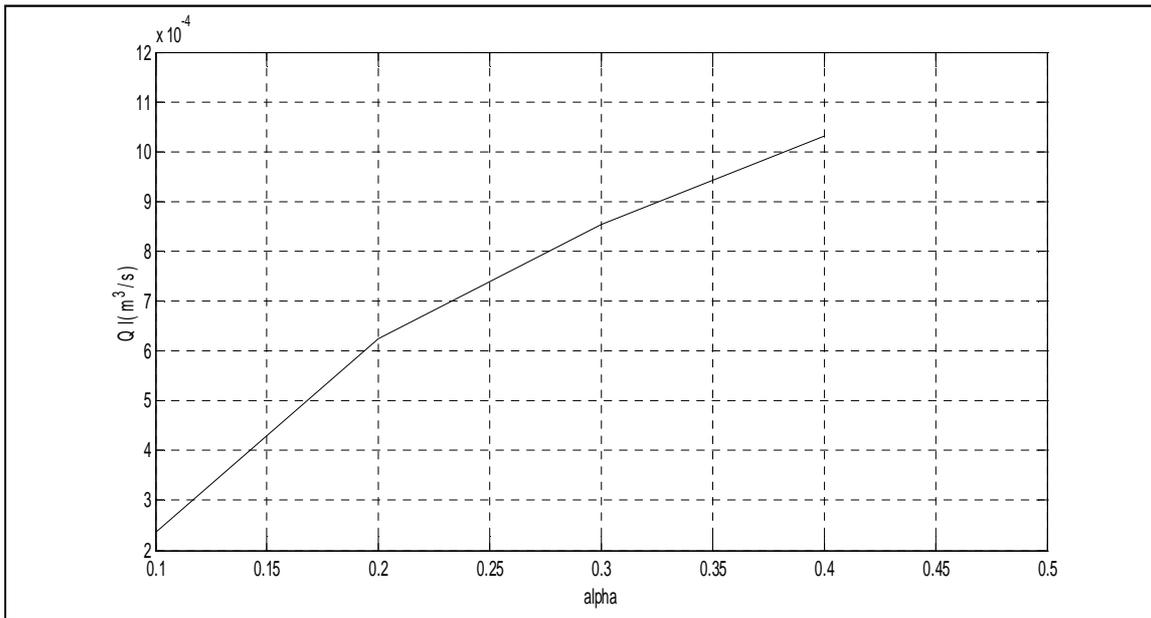


Fig. III-9: $Q_l = f(\alpha)$ débit liquide en fonction de α (air lift court)

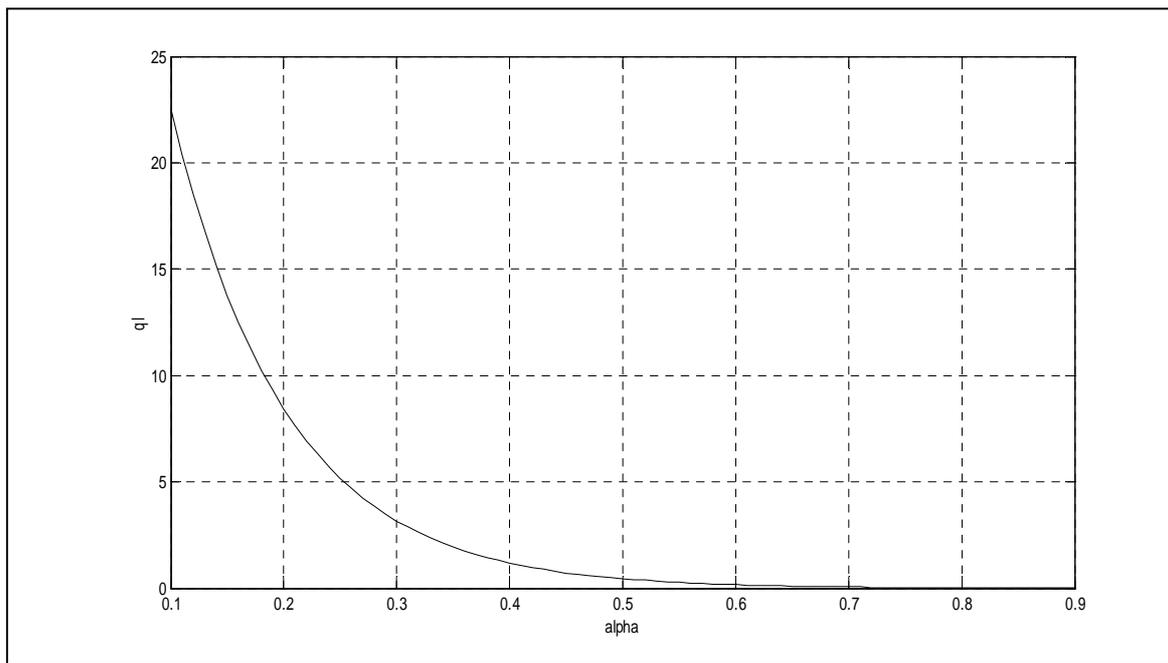


Fig. III-10: Coefficient du débit spécifique en fonction de α $q_l = f(\alpha)$

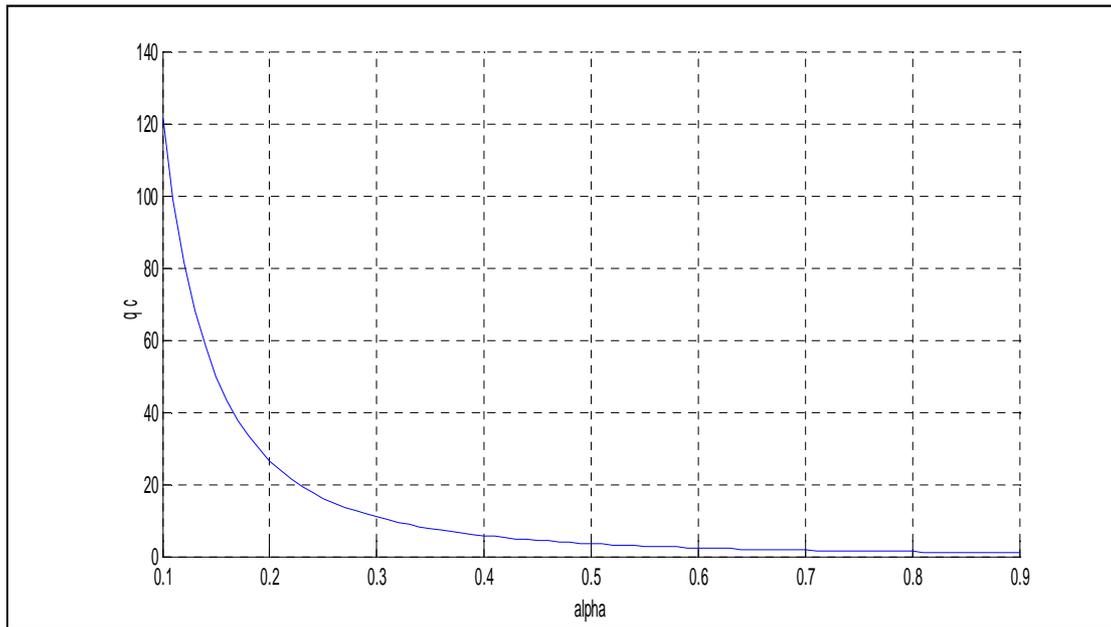


Fig. III-11: Coefficient du débit spécifique en fonction de α

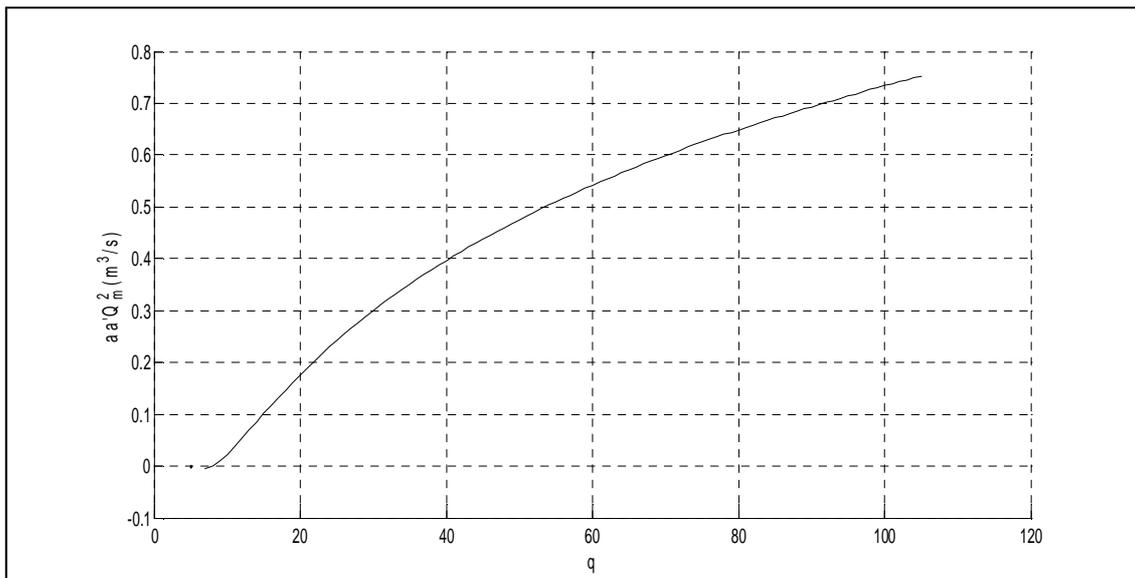


Fig. III-12: $aa'Q_m^2 = f(q)$

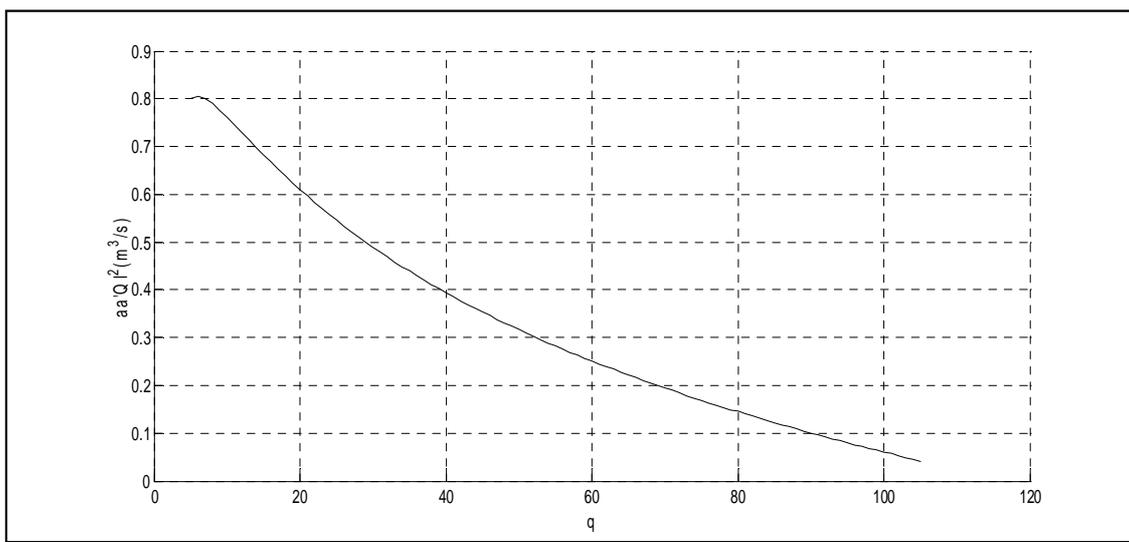


Fig. III-13: $aa'Q_l^2 = f(q)$

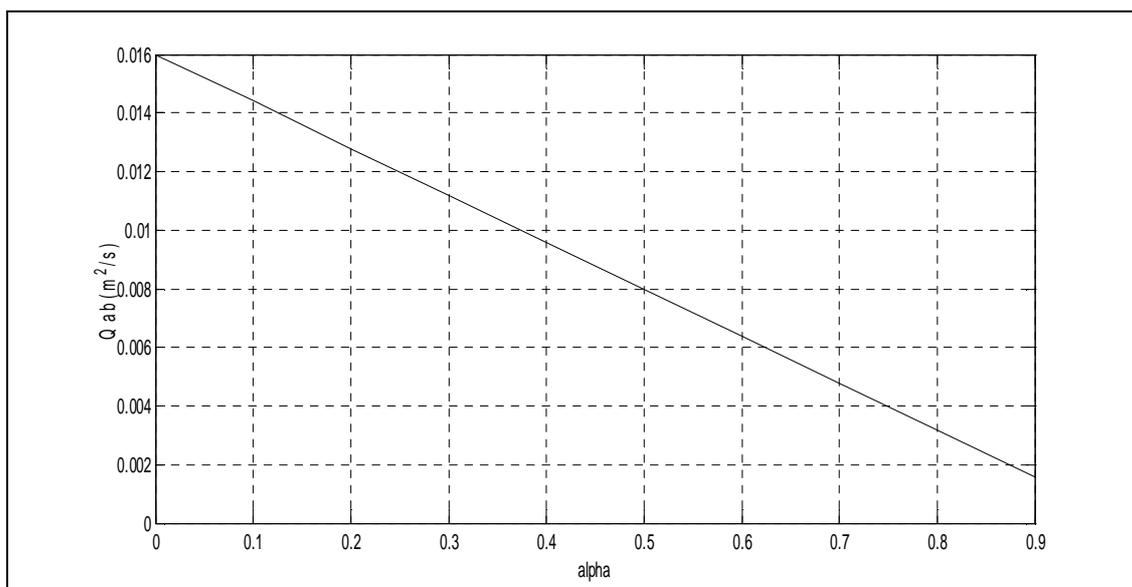


Fig. III-14: $Q_{ab} = f(\alpha)$

2. Interprétation des résultats

2.1. Courbe $Q_l = f(Q_a)$

On remarque que pour (un diamètre D, une immersion h et quelques soit la valeur α), le débit liquide augmente ainsi que le rendement pour les débits d'air.

Pour les grands débits d'air le débit liquide ainsi le rendement diminue car la conduite de refoulement se trouve plein d'air comprimé, bouchant le passage d'eau et rendant son

déplacement plus difficile, donc pour une énergie fournie à l'air lift, on ne recueille qu'un faible débit liquide d'où le rendement du système se trouve réduit.

2.2. Courbe $Q_l = f(\alpha)$

Ces graphes nous a permet de connaitre les paramètres géométrique de l'air lift donnant le débit maximum.

2.3 Courbes rendements $\eta = f(Q_a)$

Dans le but de connaitre les paramètres les plus indicatifs de l'air lift on a tracés deux courbes de rendement en fonction de débit d'air (air lift long et court)

Pour cela on a choisis une immersion relative α , tel que ($\alpha = 0,2$), changement de pression au niveau de mélangeur (variation de h).

Les courbes de rendements en fonction du débit de gaz, ont la même allure que celles donnant le débit liquide, le rendement croît avec le débit d'air, pour une valeur optimale de ce dernier, donnant un rendement maximal, en continuant d'augmenter le débit d'air, le rendement décroît brusquement par l'écoulement diphasique, on explique ce phénomène au début d'injection d'air, le rendement est nul, car le débit liquide est nul, ce qui correspond à l'écoulement à bulles, ce débit d'air ne donne pas une énergie nécessaire pour produire un débit liquide, à partir de ce débit de barbotage, on augmente la puissance d'injection.

Le débit liquide commence à se produire, le rendement croît, il atteint brusquement son maximum, ce dernier est obtenu pour une petite zone de variation du débit de gaz, donc pour chaque paramètre géométrique de l'air-lift (diamètre, immersion h et α), on obtient des rendements maximums qui sont importants pour les grands diamètres, cette zone de travail optimal de l'air-lift, correspond à l'écoulement bouchon, les pertes par frottements et glissements sont faibles et pour une petite augmentation du débit d'air comprimé, la transition bouchon vers annulaire est atteinte, les bulles d'air se trouvent en excès, le rendement de l'air lift décroît brusquement.

Le débit d'air joue un rôle essentiel sur le rendement surtout en régime homogène car il conditionne la taille des bulles primaires et l'uniformité de leur distribution sur la section de la colonne.

2.4. Courbes $aa'Q_l^2 = f(q)$, $aa'Q_m^2 = f(q)$

On peut remarquer que pour des immersions relatives (α) importantes la hauteur de refoulement est très faible et la perte d'énergie due au mélange gaz-liquide est faible et vis versa. En effet lorsque la quantité d'air injectée dans le mélangeur est faible les pertes d'énergie sont faibles, par contre lorsque la quantité d'air est importante, alors le débit

spécifique q augmente, la configuration bouchon se perturbe et on aura l'apparition de la configuration annulaire ou les pertes d'énergie par frottement et par glissement sont très importantes.

2.5. Courbes $Q_l = f(Q_a)$, variation de α

La décharge d'eau en fonction de débit d'air injecté pour une immersion différente qui garde un diamètre constant est montrée dans la Fig. III-8, et Fig. III-9.

On voit que les courbes de différent α suivent la même allure, mais ne démarrent pas par le même débit d'air car chaque immersion est caractérisée par son débit d'air barboté.

Débit d'air barboté n'est pas suffisant pour la décharge d'eau.

2.6. Courbes $Q_l = f(Q_a)$, variation de D

Le paramètre géométrique le plus considérable pour l'opération effective de la pompe du l'air lift est le diamètre. Il à un grand effet sur son efficacité.

La variation de la décharge en ce qui concerne différentes diamètres est montrée dans la Fig.III.7. L'augmentation de débit d'air veut dire que les particules d'eau restent en arrière de l'air et la décharge de la pompe baisse par contre l'augmentation de diamètre du la conduite réduit le débit de l'air et augment la décharge de la pompe. Il est trouvé que lorsque le débit d'air est plus important la décharge est négligeable dans les conduites étroites, on conclue qu'on a une meilleure efficacité pour les conduites à grand diamètre.

Les résultats obtenus sont en conformité avec les résultats donnés par les Stenning et Martin (1968) qui ont défié les résultats de Pickert (1931) que la pipe du diamètre étroite est meilleure d'un point de vue de l'efficacité.

3. Principaux paramètres Influence sur le débit de pompage

D'après Mr B. Collignon on peut déterminer les principaux paramètres Influence sur le débit de pompage.

3.1. Longueur du tube d'air

Certain forage, où le rabattement était négligeable, on n'a que l'influence de la longueur immergée du tube d'air sur le débit de dispositif, toutes les autres choses étant par ailleurs.

Le pompage ne s'amorce que pour une longueur immergée du tube d'air suffisant, pour des tubes d'eau de diamètre intérieur limité (30 à 130 mm), cette longueur immergée minimale n'est que de 10 à 20 mètres.

Le débit du dispositif augmente très régulièrement avec la longueur immergée, jusqu'à un maximum très net. Celui-ci indique simplement que la pression hydrostatique devient si forte que le rendement du compresseur diminue au point de faire nettement chuter le débit d'air.

3.2. Longueur du tube d'eau

Pour autant que le tube d'eau soit un peu plus long que le tube d'air de (5 à 15 m), ce phénomène n'a guère d'influence dans les conditions habituelles.

En effet, il ne pourrait intervenir que sur les pertes de charge linéaires en dessous de l'extrémité du tube d'air, pertes de charge négligeables pour débits obtenus (guère plus de 20 l/s pour un tubage de 125 mm, soit 20 mm de perte de charge par mètre de tube d'eau).

3.3. Niveau dynamique

Le débit chute assez rapidement quand N.D augmente mais sans annuler cependant tout-à-fait, même quand la longueur immergée ne représente pas que 25% de la longueur totale du tube d'air.

En pratique, il est donc possible de réaliser des pompages d'essai à l'air lift dans des ouvrages où le niveau dynamique est très profond sans engager des longueurs démesurées de tubage.

3.4. Niveau statique

Ce paramètre n'intervient qu'à au démarrage de compresseur. En effet cette différence ($L_{air} - N.S$) qui détermine la pression minimale que le compresseur devra pouvoir fournir pour amorcer le pompage.

3.5. Pression maximale délivrée par le compresseur

Le réservoir tampon de compresseur est toujours pourvu d'une soupape de sécurité qui s'ouvre automatiquement pour une pression légèrement supérieure à la pression nominale de l'engin. Il existe donc une limite pratique de longueur immergée du tube d'air au-delà de laquelle le pompage ne peut pas s'amorcer : c'est celle qui correspond à une pression hydrostatique en bout de tube d'air supérieure à la pression d'ouverture de la soupape. On a donc la condition :

$$L_{air} - N.S < \frac{P_{nominale}}{10}$$

- ✓ $P_{nominale}$: exprimé en bar ;
- ✓ L_{air} : en m.

3.6. Pression de service

Il faut entendre par là la pression effectivement délivrée par le compresseur, pression qui dépend à la fois des pertes de charge sur le circuit d'air (soit de la longueur et du diamètre du tube d'air) et de la pression hydrostatique à la base de tube d'air (soit de longueur immergée). On ceci pour le démarrage une condition nécessaire sur la pression délivrée par le compresseur.

$$L_{air} - N.D < \frac{P_{nominal} - 3}{10}$$

Le terme 3 bars que nous avons introduits au numérateur du second membre exprime que la pression effectivement disponible pour le pompage proprement dit est inférieure à la pression nominale du compresseur. En effet, Ils ont constaté en générale 2 à 3 bars de perte de charge dans les tubes d'air courant.

3.7. Débit d'air du compresseur

Comme la pression de service, ce paramètre n'est pas vraiment maîtrisable tout au moins, il est possible de l'évaluer. Il est évident que le débit d'air est un élément déterminant de la densité de l'émulsion et donc du débit d'eau du dispositif (le débit d'eau augment avec le débit d'air). Comme la plupart des compresseurs pourvus de vannes accessoires(pour la purge ou le branchement de divers outils) , est néanmoins possible de dériver vers l'extérieur une partie plus ou moins importante du débit d'air (en ouvrant plus ou moins ces vannes) et ainsi de faire varier le débit du dispositif. Ceci est particulièrement intéressant lors des essais de pompage. Puisqu'il est ainsi possible de réaliser plusieurs paliers de débit, avec le même dispositif d'air lift, en jouant simplement sur quelques vannes.

3.8. Section utile du tube d'eau

C'est l'un des paramètres les plus importants pour le rendement du dispositif car il détermine les pertes de charge provoquées par la circulation de l'émulsion, pertes qui sont on général considérables.

De même, l'utilisation de trou de forage lui-même comme « tube d'eau de grand diamètre (12 '), permet d'obtenir, pour faibles hauteurs de refoulement tout au moins, débits remarquables, ici cependant apparait une limite importante à partir de 30 à 35 m de refoulement, le débit chute rapidement, pour s'annuler à N.D.

Ceci correspond à une facilitée par l'écoulement lent dans un trou ou dans un tubage de grand diamètre.

3.9. Diamètre intérieur de tube d'air

Ce diamètre conditionne les pertes de charge dans le circuit d'air et donc le débit d'air effectif.

3.10. Diamètre extérieur du tube d'air

Ce diamètre conditionne partiellement la section utile disponible pour le passage de l'émulsion et donc les pertes de charge correspondantes. Le choix du diamètre du tube doit donc être fait avec soin : trop étroit, il provoque des pertes de charge inutiles sur le circuit d'air, trop large, c'est sur le passage de l'émulsion qu'il les provoque. Les valeurs proposées dans la publication Jonson sont raisonnables : 25 à 33 % du diamètre du tube d'eau.

3.11. Forme extérieur du tube d'eau

Aucune importance en général.

3.12. Forme de l'injecteur d'air

A première vue, la forme de l'injecteur d'air au bout du dispositif (droit recourbé, à trous multiples,...) devrait être un facteur déterminant de l'homogénéité de l'émulsion et donc de l'efficacité sur (b) et (c) de la figure (III-16), que nous n'avons obtenus que des améliorations de 2 à 4% par rapport au simple tube droit (a).

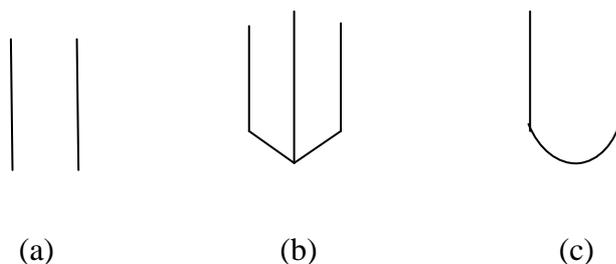


Fig. III-15: Formes des injecteurs d'air

4.13. Facteur de submersion

Les pompes d'air lift correspondent à des conditions différentes de submersion et des ascenseurs, si l'immersion est trop faible le pont aérien ne fonctionne pas.

Submersion signifie toujours la profondeur de la conduite d'air en dessous du niveau de pompage, plutôt que le niveau d'eau statique dans les puits. Les meilleures performances se produisent lorsque 60% de la colonne aérienne est submergée. Si le pourcentage de la submersion.

4. Conséquences générales

4.1. Choix du rapport d'immersion

Quelque soit le diamètre de la conduite de refoulement, le rendement de l'air lift croît si le rapport d'immersion relative augmente, toutefois, la pression d'injection augmente elle aussi.

4.2. Choix du diamètre du tube

Pour limiter les pertes par frottements, le diamètre du tube doit être choisi tel que la vitesse de l'eau ne dépasse pas 3 m/s à l'entrée du tube. Il peut être économique d'utiliser des tubes de diamètre croissant à l'approche de la sortie, de manière à limiter la vitesse du mélange qui se détend.

4.3. Choix du débit d'air

Le fonctionnement économique à lieu à faibles débits d'air, les rendements maximaux ne correspondent pas à des débits liquides optimaux.

Les rendements ne dépassent que difficilement 50% pour un fonctionnement optimale de l'air lift.

4.4. Choix du diamètre de la conduite lors du refoulement des grains solides

Dans le cas du pompage de solides, il est clair que le choix des éléments de conduites pose des problèmes de résistance des matériaux, de résistance à l'avancement ... etc. l'utilisation des tubes de diamètre croissant à mesure qu'on se rapproche de la surface est indispensable, sinon les grains solides sortent de la conduite comme des projectiles.

4.5. Influence de la taille et de la concentration des éléments solides

Le débit et le rendement augmentent si le diamètre équivalent des éléments solides diminue. La concentration des éléments solides dans le tronçon diphasique influence fortement sur le rendement. Si l'on travaille avec une concentration élevée de grains solides, ce là signifie un accroissement exagère du poids du mélange et donc, une perte de rendement.

Conclusion

Ce chapitre est concentré sur les fonctions mathématiques générales applicables aux installations de la pompe de la technique air lift. L'effet de plusieurs paramètres du dessin sur la performance de la pompe du l'air lift est présenté.

Cette conclusion est tirée à partir des résultats théoriques, on déduit que :

Etude analytique de l'air lift

- ▶ les meilleurs résultats pour l'efficacité de pompe correspondent au grand diamètre de la conduite.
- ▶ L'efficacité de la pompe augmente avec augmentation de ratio d'immersion.
- ▶ L'efficacité maximale a été observée pendant le courant de la limace.

Chapitre IV

Etude expérimentale

1. But de l'expérience

Cet installation correspond à la production d'un puits par le système de pompage à l'aide du la technique air lift, Le but de cette expérience est de comparer les résultats pratiques avec celle de la théorie.

2. Matériels

2.1. Eléments constructifs

- ▶ Compresseur d'air ;
- ▶ Mélangeur ;
- ▶ Régulateur de débit ;
- ▶ Séparateur ;
- ▶ Injecteur d'air ;
- ▶ Conduite d'eau ;
- ▶ Conduite d'air ;

2.2. Instruments de mesure

- ▶ Déversoir triangulaire ;
- ▶ Réservoir cylindrique en plastique ;
- ▶ Diaphragme ;
- ▶ Chronomètre ;
- ▶ Limnimètre.

2.3. Produits utilisés

- ▶ Air comprimé ;
- ▶ Eau ;
- ▶ Mercure.

3. Représentation de matériel

3.1. Air comprimé

Une masse d'air est définie par:

- ▶ Sa pression ;
- ▶ Son volume ;
- ▶ Sa température.

Contrairement aux solides et aux liquides, très peu compressibles, les gaz peuvent se comprimer aisément. Cette opération consiste à rapprocher les molécules pour en faire tenir un plus grand nombre dans un même volume. Pour cela on utilise un compresseur.

3.2. Compresseur

Changement de l'état de l'air, par exemple si on fait diminuer le volume d'une quantité d'air contenue dans une enveloppe, on augmente sa pression.



Fig. IV-1: Compresseur

3.3. Séparateur

Séparateur de dimension (Hauteur =27 cm, Diamètre =30 cm)

Pour séparer le courant diphasique (air-eau) en deux parties :

- ▶ L'air sera évacué vers l'atmosphère ;
- ▶ L'eau sera orientée vers un déversoir triangulaire.



Fig. IV- 2: Séparateur

3.4. Mélangeur

Réalise le mélange air-eau en transmettant au liquide l'énergie donnée par l'air d'une manière efficace.

- ▶ Le mélangeur ne doit pas résister au passage de l'air dans la conduite de refoulement (5) et inversement, de ne pas résister au passage de l'eau dans le mélangeur quand l'air comprimé n'est plus injecté.

- ▶ Le mélangeur doit contenir des ouvertures pour assurer l'écoulement à bulle dans la conduite d'eau pour cela on a foré 42 trous sur la section externe de la conduite uniformément répartie (7 lignes, 6 colonnes), avec un diamètre de 5 mm.

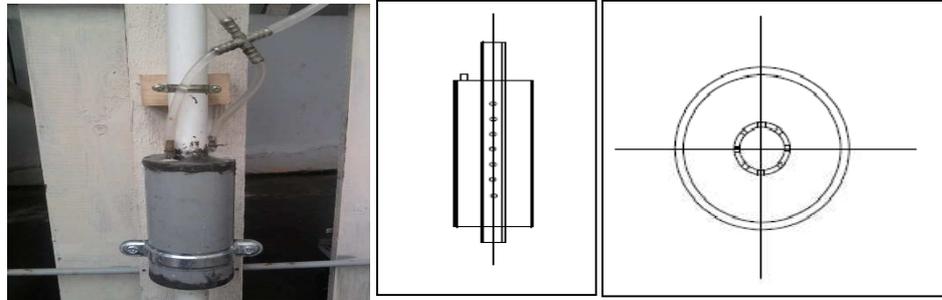


Fig. IV- 3: Schéma réel et dessin technique de mélangeur

3.5. Régulateur de débit

Le régulateur assure un débit d'air constant.

3.6. Injecteur

On a plusieurs types d'injecteur :

- ▶ Injecteur ponctuel (verticale),
- ▶ Injecteur frontal (horizontale),
- ▶ Injecteur répartie.

Un injecteur frontale pour répartie la pression.

Le dessin de l'injection doit favoriser la formation de petites bulles.

3.7. Réservoir d'alimentation

Réservoir en plexi glace de dimension (Hauteur = 15,5 cm, diamètre extérieur = 24 cm, diamètre intérieur = 16 cm) il contient deux trous :

- ▶ Premier raccordé avec le flexible (1) ;
- ▶ Deuxième c'est le trop plein pour avoir un niveau constant d'eau et permet de donner les différents positions d'immersion géométrique h .



Fig. IV-4 : Réservoir d'alimentation

3.7. Limnimètre

Un équipement permettant l'enregistrement et la transmission de la mesure de la hauteur d'eau (en un point donné). Les hauteurs sont souvent exprimées soit en mètre, soit en centimètre.



Fig. IV-5: Limnimétrie

3.8. Manomètre

Manomètre pour mesure de pression d'air qui va sortir de compresseur.



Fig. IV- 6: Manomètre

4. Présentation de l'installation

Nous n'avons utilisé dans notre expérience une installation ayant la forme de tube en U voir les figures (IV-7, IV-8).

La branche A permet de reproduire la pression statique et pour venue de plusieurs trop plein (2) placés à différentes hauteurs(x) d'immersion afin de stimuler la variation de pression au niveau de mélangeur (4).

Cinq trop plein sont fixés sur cette conduite d'alimentation (3) de diamètre extérieur 4 cm, liée à un réservoir cylindrique (2) dont le rôle consiste à éviter les déversements lors de l'apport d'eau par la conduite d'alimentation.

Le réservoir muni d'un trop plein évacue l'excès d'eau.

La conduite de refoulement (5) en pvc de diamètre 26 mm et de hauteur.



Fig. IV-8: Branche B de l'installation

5. Manipulations et mesures

Cette installation permet de comparer les résultats expérimentaux et théoriques du technique air lift,

Système de fonctionnement :

On alimente notre installation à partir de l'eau de ville au niveau de laboratoire il se déverse dans le réservoir (1), s'écoule dans la conduite (3) à l'aide de trop plein en obtient la variation de α .

Initialement le niveau d'eau dans les deux branches est identique il correspond à la hauteur statique de trop plein.

Un débit d'air comprimé est injecté à l'intérieur de mélangeur.

Au début le mélangeur rempli d'eau à la cote (c), sous l'action de la pression d'air le niveau d'eau diminue jusqu'à la cote (b) pour atteindre la première série de trous d'où l'air s'échappe et s'introduit dans la conduite (3) et relève le niveau d'eau dans cette dernière.

On remarque :

- ▶ la rapidité d'ascension du mélange (air-eau) ;
- ▶ la formation d'une multitude de petites bulles devenant plus en plus grosses en remontant la conduite (5) et s'agglomèrent pour donner naissance à une grosse bulle de forme apoïde.

Le phénomène se déroule dans une discontinuité nette entre les deux phases air-eau, le mélange occupe alors la totalité de la section de la conduite (5) on reconnaît par là

l'écoulement bouchon ou configuration bouchon qui s'accompagne d'un nuage de petites bulles qui à leur tour s'unissent pour former un autre bouchon.

Le mélange arrive à vive allure au niveau de séparateur par jet saccadés dû à l'irrégularité du volume du bouchon d'air.

Cette montée rapide s'explique du fait que la masse volumique de mélange est inférieure à celle de l'eau. La paroi d'un bouchon peut être considérée comme solide du fait que ce bouchon reste le même durant son ascension. Le bouchon entouré d'eau glisse dans la conduite (3) et le mouvement qu'il provoque est transitoire qu'on suppose turbulent lisse.

La masse volumique du bouchon d'air étant inférieure à la masse volumique de l'eau, le bouchon s'élève en entraînant le liquide environnant.

A la fin de cette phase rapide dans le temps on observe au niveau du mélangeur remonte à la cote(a) .ce phénomène de va et vient se répète à une fréquence régulière et on peut en conclure que ce mouvement est oscillatoire.

Cette oscillation s'explique par la compression et la décompression de l'air.

► $\beta = 90^\circ$ (fixe)

β :L'inclinaison de la conduite d'eau avec l'horizontale.

A chaque fixation de α , on fait varier le débit d'air pour obtenir le débit liquide.

6. Etalonnage des instruments de mesures

L'étalonnage d'un appareil de mesure permet l'indication des valeurs correspondantes de la grandeur mesurée, et de déterminer les corrections à appliquer aux indications.

6.1. Diaphragme

Le diaphragme est un appareil permettant de connaître le débit du fluide parcourant un circuit hydraulique.

Dans notre cas il permet de déterminer le débit d'air par la mesure de la dépression provoquée par un rétrécissement .le dispositif interposé dans la conduite (11) est appelé élément primaire, la prise de pression et le tronçon de la conduite où l'appareil est installé étant compris dans ce terme.

Un diaphragme placé dans une conduite crée une perte de charge importante pour conséquence de réduire l'énergie du fluide et donc d'obtenir un débit réel.

La perte de charge entre les sections amont (5) et aval (6) reste faible. La différence de pression entre les sections 5 et 6 est reliée au débit. La pression est constante non seulement à l'intérieur du jet, mais aussi sur tout le reste de la section.

La lecture sur le manomètre à eau se fait grâce au niveau de liquide contenu dans le tube incliné. Tout d'abord vérifier avec le niveau et avec le pied ajustable que le manomètre est bien posé à plat. Puis vérifier le niveau zéro.



Fig. IV- 9: Diaphragme



Fig. IV-10: Prises de pression au niveau de diaphragme

- ✓ d : diamètre de la conduite.
- ✓ d_2 : Diamètre minimum du dispositif d'étranglement.
- ✓ S : section de la conduite.
- ✓ m : rapport des sections offertes. $m = \frac{\text{section contractée}}{\text{section de la conduite}} = \frac{24}{40} = 0,5$.
- ✓ X : coefficient de contraction de la veine.
- ✓ φ : Coefficient qui tient compte globalement des écarts causés par le changement des sections de prise de pression et par les résistances au mouvement.

Les prises de pression sont placées aux distances suivantes :

$$X_1 = d \pm \frac{d}{10}$$

$$X_2 = \frac{d}{2} \pm \frac{d}{20}$$

La vitesse moyenne d'écoulement dans la section contractée correspondant à la chute de pression mesurée ΔP_a peut être exprimée par la formule.

$$V_c = \frac{\varphi}{\sqrt{1 - X^2 m^2}} \sqrt{2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma}} = \frac{\varphi}{\sqrt{1 - X^2 m^2}} \sqrt{2g\Delta h}$$

Le débit volumique est donné par : $Q_a = S_c V_c = \frac{X\varphi}{\sqrt{1 - X^2 m^2}} S_2 \sqrt{2g\Delta h}$

En posant ϵ représente $\epsilon = \frac{X\varphi}{\sqrt{1 - X^2 m^2}}$ on a $Q_a = \epsilon S_2 \sqrt{2g\Delta h}$

Où ϵ représente le coefficient de débit du dispositif d'étranglement qui tient compte du coefficient de vitesse d'approche.

Pour des faibles vitesses, la valeur de coefficient de débit ne subit pas de changement sensibles, le débit d'un dispositif d'étranglement est proportionnel à la racine carrée de la perte de charge Δh dans le dispositif d'étranglement. $Q_a \propto \sqrt{\Delta h}$, $Q_a = a'\Delta h^{\frac{1}{2}}$.

6.1.1. Etalonnage de diaphragme

Etalonnage de diaphragme revient à déterminer expérimentalement un coefficient. Ce coefficient varie d'un diaphragme à un autre et il est également fonction du nombre de Reynolds basé sur le diamètre de la conduite.

Le compresseur du laboratoire est pourvue d'un diaphragme doit l'élément secondaire est un différentiel incliné.

Le compresseur est doté d'une courbe d'étalonnage du diaphragme voir (fig. IV-11) qui permet d'obtenir par interpolation le débit massique (\dot{m} (g/s)) en fonction de la dénivelée.

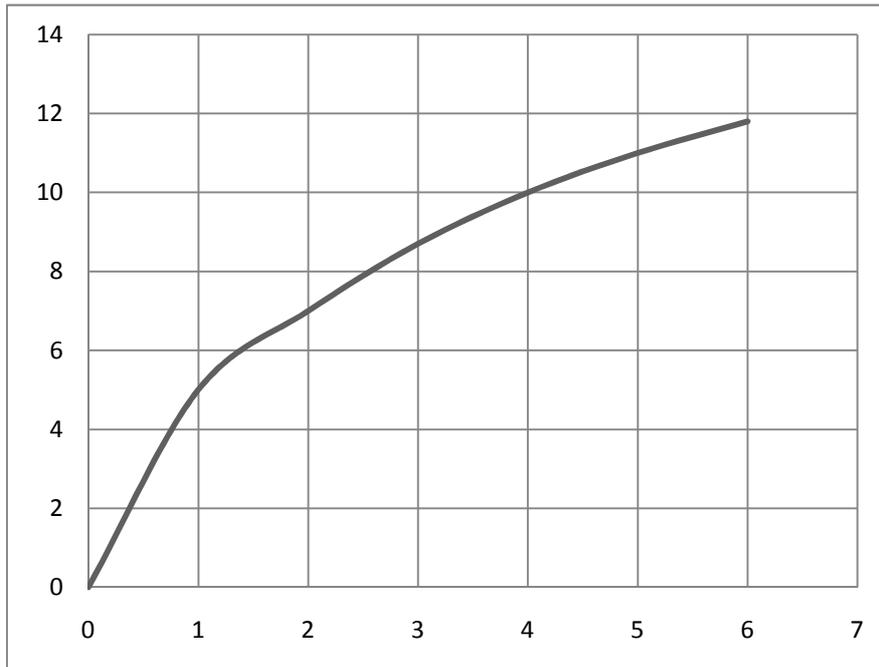


Fig. IV-11: Courbe d'étalonnage du manomètre à eau incliné

Pour étalonner nous avons procédé de la manière suivante :

Une simple lecture de la courbe d'étalonnage nous a permis d'obtenir le débit correspondant.

L'équation de la courbe est de la forme $Q_a = a \cdot \Delta h_1^b$

Pour la linéarité de l'équation on trace la droite .

$$\log(Qa) = f(\log(\Delta h_1)).$$

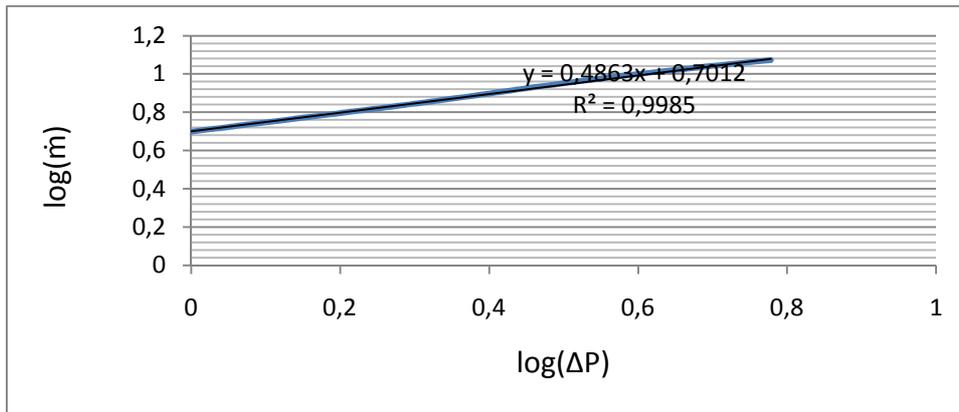


Fig. IV-12: Linéarisation de la courbe d'étalonnage de diaphragme

6.2. Déversoir triangulaire

Le déversoir triangulaire en mince paroi est un dispositif très précis pour les mesures de débits, très faibles Q et il a une Large plage de mesure.



Fig. IV-13: Déversoir triangulaire

Il doit être formé d'une échancrure en V symétrique, située dans une mince paroi verticale. La paroi du déversoir doit être lisse et plane. (1-5)

$$Q = \mu \frac{8}{15} \sqrt{2g} \operatorname{tg} \left(\frac{\theta}{2} \right) h_e^{5/2}$$

Cette relation est due à Thomson et le déversoir triangulaire est également appelé *déversoir Thomson*.

Où :

- ✓ Q : Débit (m^3/s);
- ✓ μ : Le coefficient de débit $f(a, h/p, p/B)$;
- ✓ g : L'accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$);
- ✓ θ : L'angle formé par les parois de l'échancrure;
- ✓ h_e : La charge piézométrique fictive ou hauteur de la surface liquide amont par rapport au point bas de l'échancrure (m).

Etude expérimentale

Trois dimensions de déversoirs triangulaires sont recommandées par l'Organisation Internationale de Normalisation:

Tableau. IV-1 : μ en fonction de θ

$\theta(^{\circ})$	20	40	60	80	90	100
μ	0,597	0,582	0,577	0,577	0,578	0,580

Tableau. IV-2 : caractéristique de réservoir triangulaire

Gamme de débit (l/s)		Type de déversoir	Lame d'eau correspondante		observations
Max	Min		Max	Min	
0,2	35	Triangulaire type $\frac{1}{4} \text{tg}(\theta/2) = \frac{1}{4}$ ($\theta = 28.1^{\circ}$)	5	40	H pelle > 45 cm, H canal > 85 cm
0,4	70	Triangulaire type $\frac{1}{2} \text{tg}(\theta/2) = \frac{1}{2}$ ($\theta = 53.1^{\circ}$)	5	40	
1 à 20	$70 < Q_{max} < 140$	Triangulaire type $90^{\circ} \text{tg}(\theta/2) = 1$ ($\theta = 90^{\circ}$)	5 pour 1 (l/s)	40	H pelle > 40 cm

Si le lit et les parois du canal d'approche sont éloignés de l'échancrure on peut se servir des formules suivantes:

- ▶ échancrure type 90° ; $Q = \mu \frac{8}{15} \sqrt{2g} h_e^{5/2}$;
- ▶ échancrure type $1/2$; $Q = \mu \frac{4}{15} \sqrt{2g} h_e^{5/2}$;
- ▶ échancrure type $1/4$; $Q = \mu \frac{2}{15} \sqrt{2g} h_e^{5/2}$.

Il est représenté sur la fig. IV-15 la variation du coefficient de débit μ en fonction de l'angle θ , selon les valeurs données au tableau. IV-1. Nous pouvons observer que la courbe obtenue est une courbe en cloche, qui se compose d'une branche descendante et d'une autre ascendante. Le coefficient de débit μ passe par un minimum tel que $\mu = \mu(\text{minimum}) \approx 0,577$ pour $\theta = 70^{\circ}$.

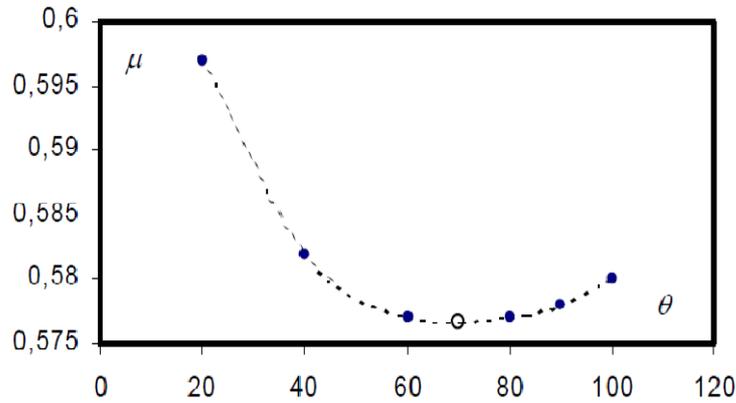


Fig. IV- 14: L'angle θ en fonction de coefficient μ

Donc on a

$$0.577 < \mu < 0.597$$

► dimension de déversoir :

- $\theta = 35^\circ$.

- $H = 20 \text{ cm}$.

- $b=12 \text{ cm}$.

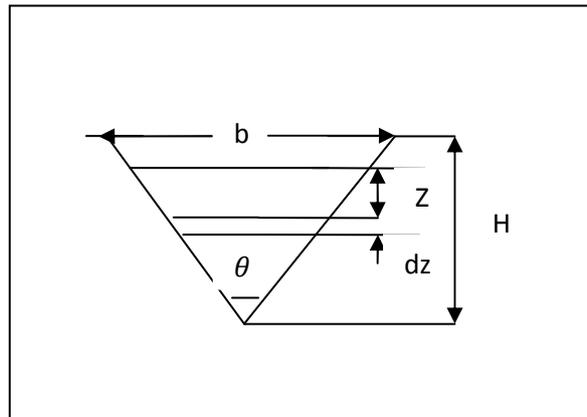


Fig. IV-15: Dimension de déversoir triangulaire

► Fixation de zéro :

On remplit le déversoir a un certain niveau ensuite on arrête l'alimentation, quand l'écoulement cesse dans le déversoir on repère le zéro.

Par la suite on remplit progressivement le déversoir avec relèvement de lame d'eau, une fois que le niveau s'est stabilisé on mesure le débit déversé.

La mesure de débit sera réalisée à l'aide d'un réservoir cylindrique gradué (hauteur= 30 cm, diamètre extérieur= 20 cm, diamètre intérieur 13,5 cm et un chronomètre qui détermine la durée de remplissage du réservoir.



Fig. IV- 16: Réservoir de mesure de volume

Les valeurs sont représentés dans le tableau ses dessous :

Tableau IV- 3: Etalonnage de déversoir triangulaire

Nombre	h' (cm)	log (h')	V (ml)	t (s)	Q (l/s)	Log(Q)
1	2	0,30103	750	28,56	0,03	-1,58
2	2,5	0,39794001	1525	15,03	0,10	-0,99
3	3	0,47712125	750	5,75	0,26	-0,88
4	3,5	0,54406804	1000	5,34	0,19	-0,73
5	4	0,602	1500	6,85	0,22	-0,66
6	4,5	0,653	1500	5,08	0,30	-0,53
7	5	0,698	4500	10,77	0,42	-0,38
8	5,5	0,740	2125	4,33	0,72	-0,31
9	6	0,778	3750	7,76	0,48	-0,32
10	6,5	0,812	1500	2,54	0,59	-0,23

On trace la courbe d'talonnage $Log(Q) = f(log(h'))$

Etude expérimentale

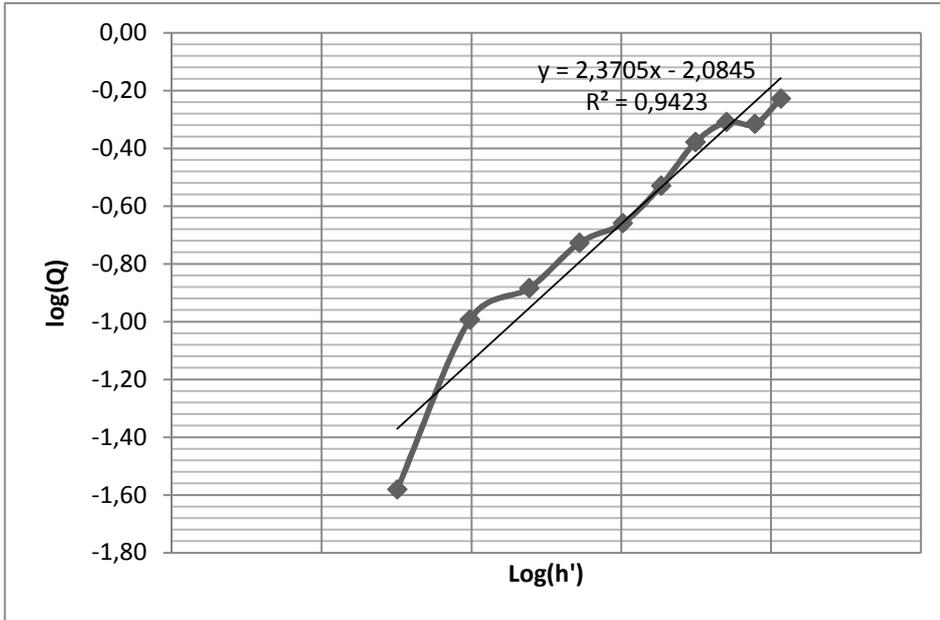


Fig. IV-17: Courbe d'étalonnage de déversoir

$$\text{Log}(Q_l) = b' \log(h') + \log(a') \rightarrow \text{Log}(Q_l) = 2,37 \log(h') - 2,08$$

$$Q_l = 8,317 \cdot 10^{-03} h^{2,4}$$

Le coefficient de corrélation : $r = 0,94$

$$a' = \mu \frac{8}{15} tg \frac{a}{2} \sqrt{2g} \rightarrow \mu = \frac{a'}{\frac{8}{15} tg \frac{a}{2} \sqrt{2g}}$$

Tableau. IV-4 : Mesure de μ

$h' \text{ (m)} \cdot 10^{-2}$	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
$Q_l \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot 10^{-3}$	0,03	0,10	0,26	0,19	0,22	0,32	0,40	0,72	0,48	0,59
a'	0,36	0,70	1,17	0,59	0,50	0,51	0,56	0,76	0,41	0,42
μ	0,23	0,44	0,74	0,37	0,31	0,32	0,35	0,48	0,26	0,26

► Calcul d'erreur sur déversoir :

Le débit Q_l recueilli est mesuré par la formule $Q_l = \frac{V}{t}$

► V : Volume du bac ;

► t : le temps de remplissage du bac.

$$\log(Q_l) = \log(V) - \log(t) \rightarrow \frac{\Delta Q_l}{Q_l} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta t}{t}$$

Etude expérimentale

- ▶ $\Delta V = 30 \text{ cm}^3 \rightarrow \Delta V = 0.03 \text{ l}$: Erreur de lecteur sur le bac.
- ▶ $\Delta t = 1 \text{ s}$: Erreur de lecteur sur le chronomètre.

L'erreur sur h de la lame d'eau déversant $d \log h = \frac{\Delta h}{h}$

- ▶ Δh : Erreur du déversoir + erreur de lecteur + erreur commise par influence de la tension superficielle.

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 = 2 \text{ mm.}$$

- ▶ Calcul d'erreur sur le diaphragme

On a la dénivelée Δh_1 sur le manomètre différentiel qui lui correspond au débit massique $\dot{m} = [g/s]$

$$\text{D'où } \frac{\Delta Q_a}{Q_a} = \frac{\Delta(\Delta h_1)}{\Delta h_1}$$

Avec $Q_a (g/s)$

$\Delta(\Delta h_1) \approx 2 \text{ mm}$: Erreur de lecteur sur le manomètre différentiel + erreur d'exploitation sur la courbe d'étalonnage

On dresse le tableau suivant :

Tableau. IV-5: L'erreur sur le déversoir triangulaire

h (cm)	t(s)	V(l)	Q (l/s)	$\frac{\Delta t}{t}$	$\frac{\Delta V}{V}$	$\frac{\Delta Q_l}{Q_l}$	$\frac{\Delta h}{h}$
2	28,56	0,750	0,03	0,035	0,040	0,075	0,100
2,5	15,03	1,525	0,1	0,067	0,020	0,086	0,080
3	5,75	0,750	0,26	0,174	0,040	0,214	0,067
3,5	5,34	1,000	0,19	0,187	0,030	0,217	0,057
4	6,85	1,500	0,22	0,146	0,020	0,166	0,050
4,5	5,08	1,500	0,3	0,197	0,020	0,217	0,044
5	10,77	4,500	0,42	0,093	0,007	0,100	0,040
5,5	4,33	2,125	0,72	0,231	0,014	0,245	0,036
6	7,76	3,750	0,48	0,129	0,008	0,137	0,033
6,5	2,54	1,500	0,59	0,394	0,020	0,414	0,031

6. Explication physique de phénomène

Au début de l'expérience le système est à l'état d'équilibre statique, il se produit après l'injection d'un faible débit d'air, un déséquilibre de ce système, Pour un nombre réduit de bulles d'air ce phénomène reste quasi statique, en revanche pour un nombre élevé de bulles une forte turbulence se manifeste, le système oscille afin de retrouver un nouvel état d'équilibre statique et l'on se trouve en présence d'un phénomène oscillatoire (oscillation en masse).

Après l'ascension des bulles un phénomène retour se produit dès que les vitesses d'écoulement sont élevées, ce dernier phénomène est dû à un changement de quantité de mouvement.

Au niveau de mélangeur la pression d'air parvient à vaincre la pression hydrostatique l'air s'échappe.

En continue à perturber le système à $(P_a + \Delta P_a)$ voir Fig. IV-19 le système oscille cela revient à une augmentation de la hauteur d'eau (z_m) dans l'une des deux branches.

Le système commence à osciller autour d'une nouvelle position d'équilibre.

En réalité la pression (P_a) élevé le niveau dans les deux branches, mais dès que l'air d'échappe la situation est contrebalancée.

L'ascension de l'air conduit à une diminution de la masse volumique dans la conduite de refoulement.

La pression (ΔP_a) étant toujours constante, le défilement des bulles d'air est relativement faible à des vitesses différentes et diminue suivant la hauteur, ce ci provoque l'élévation du niveau d'eau jusqu'à une hauteur donnée où la pression dans la branche d'alimentation devient suffisamment grand et l'eau gagne alors de l'espace et s'écoule à travers les trous du mélangeur.

En augmentant la pression, le débit d'air s'accroît, le phénomène disparaît des grosses bulles et des bouchons apparaissent au niveau de l'injecteur.

L'oscillation diminue alors, grâce à l'excès de pression qui permet de vaincre ces perturbations secondaires.

La valeur de (α) se trouve changée non seulement par l'oscillation du système mais aussi par alimentation dynamique où la vitesse et la pression, à la surface libre dans la branche d'alimentation, sont différentes de celles d'un état statique parfait.

Chapitre IV

Etude expérimentale

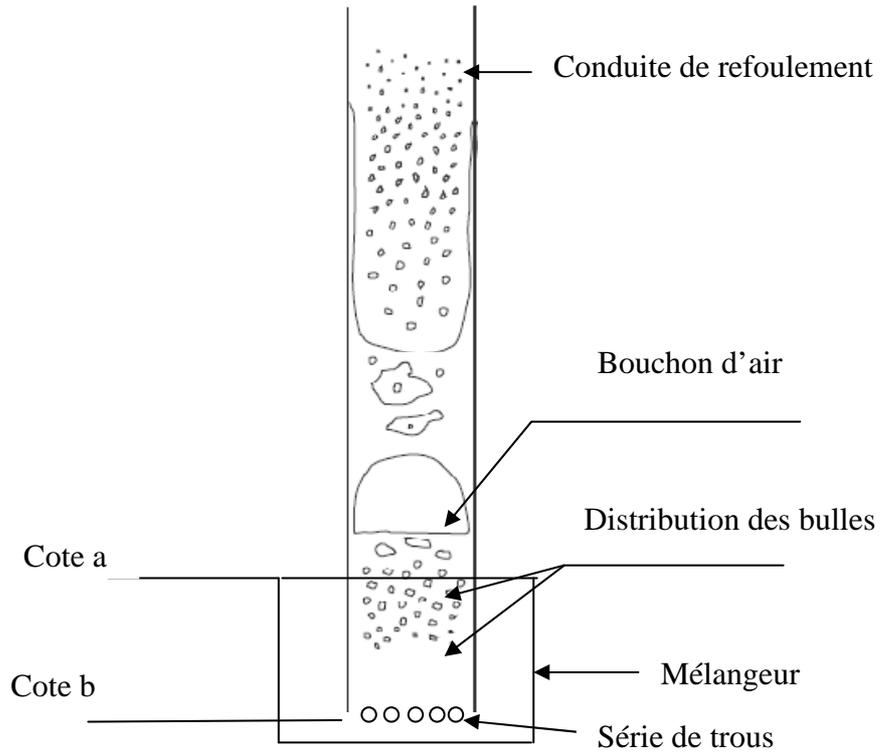


Fig. IV-18: Schéma

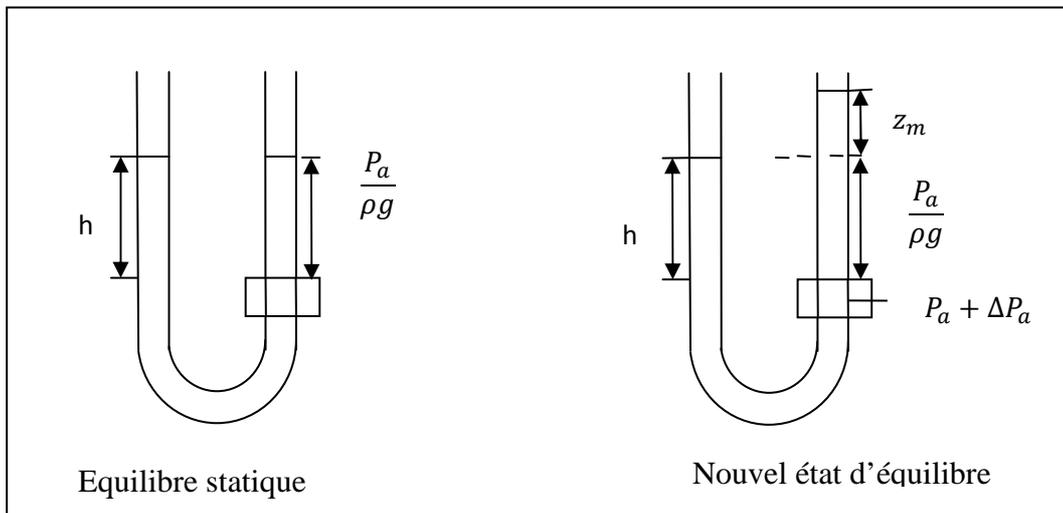


Fig. IV-19: Schéma

► **Débit d'alimentation**

Le débit de la ville c'est le débit par lequel on a alimenté notre installation

Pour cela on a réalisé trois essais à l'aide d'un réservoir cylindrique et un chronomètre.

Chapitre IV

Etude expérimentale

Tableau. IV-6 : Débit de la ville

Nombre	V(ml)	t (s)	$Q_{ville}(ml/s)$
1	5560	14,15	392,93
2	4600	11,13	413,30
3	4300	10,5	409,52

$$Q_{ville} = \sum_{i=0}^{i=3} Q_{ville(i)}$$

$$Q_{ville} = 405,25 \text{ ml/s}$$

Conclusion

Ce chapitre décrit le matériel qui peut être utilisé dans une installation de pompage par air lift, et permet de donner le rôle de chaque une de ces appareils.

Ces appareils imitent la gamme des essais de certains paramètres tel que la quantité de liquide déversé, la variation de la hauteur d'immersion.

Il montre aussi la facilité de ce système, et donne une aide générale sur le coût.

Chapitre V

Résultats et analyse des résultats

D'après le chapitre IV, on a abouté à des résultats pratiques, et par la suite on va les comparer avec les résultats théorique, car ce n'est pas tous ce qui est théorique peut se réaliser en réalité.

Pour chaque profondeur d'immersion du mélangeur, on détermine la valeur de débit d'air injecté et le débit liquide avec instruments de mesure.

Ensuite on fait varier la pression au niveau du mélangeur en augmentant la hauteur d'immersion absolue h.

Le tableau des résultats est dressé dans la page suivante dans lequel sont représentés les paramètres suivants :

- ▶ P_c : Pression d'air a la sortie de compresseur. (bar)
- ▶ $\Delta h_{\text{sép}}$: Variation de la hauteur au niveau du manomètre différentiel (1) à mesure, elle nous permet de déterminer la pression à la sortie de séparateur.
- ▶ $\Delta h_{\text{mél}}$: Variation de la hauteur au niveau du manomètre différentiel (2) à mesure, elle nous permet de déterminer la pression juste à l'entrée du mélangeur.

$$P_{\text{mél}} = \rho_{\text{mer}} \cdot g \Delta h_{\text{mél}}$$

- ▶ $\rho_{\text{mer}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$;
- ▶ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- ▶ ρ_a : Masse volumique de l'air comprimé juste avant son injection dans le mélangeur.

Pour un processus isothermique.

$$\rho_a = \frac{P}{RT}$$

$$R = 0,00287 \left[\frac{\text{bar} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \right]$$

- ▶ Q'_a : Débit d'air obtenu à l'aide du diaphragme.(g/s)
- ▶ Q_a : Débit d'air à l'entrée du mélangeur :

$$Q_a = \frac{Q'_a}{\rho_{\text{air}}} \cdot \frac{P_c}{P_{\text{mél}}} \quad (\text{L/s})$$

1.1. Variation du débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes α

Le débit liquide est plus important pour un coefficient d'immersion relative α constant.

Chapitre V

Résultats, Analyse des résultats

◆ $\alpha = 0,21$

Tableau .V-1 : débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,21$

P_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g /s)	$\Delta h_{mél}$ (cm)	$\Delta h_{sép}$ (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (l/s)	Q_a (l/s)	$P_{mél}$ (bar) 10^{-1}	ρ_a (Kg/ m^3) 10^{-1}
0,5	0,6	0,55	7	2	1,7	0,03	26	0,93	1,1
1	1,6	0,88	9	2	13,1	4,0	50	1,2	1,5
1,5	3,6	1,31	11	2	12,3	3,4	75	1,5	1,8
2,25	4,4	1,44	16	2	13,3	4,1	59	2,1	2,6
2	3,8	1,34	14	2	10,8	2,5	63	1,9	2,3
3,25	6,6	1,75	24,3	2	12,3	3,4	4,5	3,2	3,9
2,5	5,2	1,56	17	2	13,2	4,1	63	2,3	2,8

◆ $\alpha = 0,28$

Tableau .V-2 : débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,28$

P_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g /s)	$\Delta h_{mél}$ (cm)	$\Delta h_{sép}$ (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (l/s)	Q_a (l/s)	$P_{mél}$ (bar)	ρ_a (Kg/ m^3)
0,25	2,6	1,12	5	2	9,6	0,002	51,611	0,067	0,081
0,5	2,5	1,09	6	2	30,4	0,030	70,329	0,080	0,097
0,9	3,5	1,29	8,5	2	23	0,015	74,283	0,113	0,138
1,75	4,8	1,50	13,75	2	28	0,025	64,355	0,183	0,223
2,25	7,1	1,82	17	2	30,9	0,031	65,473	0,227	0,275
0,75	4,8	1,50	8	2	17,8	0,008	81,476	0,107	0,130
2	6,4	1,73	16	2	30	0,029	62,468	0,213	0,259

Chapitre V

Résultats, Analyse des résultats

◆ $\alpha = 0,39$

Tableau .V- 3: débit d'air, débit liquide pour alpha=0,39

P_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g /s)	$\Delta h_{mél}$ (cm)	$\Delta h_{sép}$ (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (l/s)	Q_a (l/s)	$P_{mél}$ (bar)	ρ_a (Kg/ m^3)
0,475	0,4	0,45	6,5	2	8,4	0,0014	23,3633	0,0867	0,1053
1,25	2,2	1,03	15	2	18,5	0,0091	26,4369	0,2001	0,2430
0,75	1,2	0,77	11,5	2	21,6	0,0133	20,1008	0,1534	0,1863
1,75	3	1,20	16,5	2	25,7	0,0201	35,5645	0,2201	0,2673
2,75	5,4	1,59	23,5	2	25,9	0,0205	36,6612	0,3135	0,3806
2,5	4,8	1,50	18	2	24,5	0,0179	53,6468	0,2401	0,2916
3	6,5	1,74	24	2	26	0,0207	41,9605	0,3202	0,3887

◆ $\alpha = 0,5$

Tableau .V-4 : débit d'air, débit liquide pour alpha=0,5

P_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g /s)	$\Delta h_{mél}$ (cm)	$\Delta h_{sép}$ (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (l/s)	Q_a (l/s)	$P_{mél}$ (bar)	ρ_a (Kg/ m^3)
0,4	0,45	0,25	9	4	19,3	0,010	6,414	0,120	0,146
1	0,70	0,625	12	4,25	35,4	0,043	14,079	0,160	0,194
1,6	0,88	1	15	3,75	38,6	0,053	18,117	0,200	0,243
3,2	1,23	1,6	12	3,25	40	0,058	63,435	0,160	0,194
0,9	0,67	0,5	10,5	4,3	38,1	0,052	13,977	0,140	0,170
6,4	1,73	2	22	3,75	42,5	0,067	33,041	0,294	0,356
2,2	1,03	1,25	17,5	3,6	40,4	0,060	19,423	0,233	0,283
6,4	1,73	3,25	32	4	40,2	0,059	25,378	0,427	0,518
0,1	0,23	0,125	5	4	0	0,000	5,297	0,067	0,081

Chapitre V

Résultats, Analyse des résultats

◆ $\alpha=0,68$

Tableau .V- 5: débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,68$

P_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g /s)	$\Delta h_{mél}$ (cm)	$\Delta h_{sép}$ (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (l/s)	Q_a (l/s)	$P_{mél}$ (bar)	ρ_a (Kg/ m^3)
0,25	0,6	0,55	8,5	4	22,3	0,014	8,757	0,113	0,138
0,5	0,8	0,63	11	4	45,7	0,080	12,027	0,147	0,178
1,75	4	1,38	21,5	4	47,7	0,089	24,090	0,287	0,348
2,75	6,4	1,73	27,5	4,25	45,7	0,080	29,076	0,367	0,445
0,75	1,6	0,88	15,5	4	45,7	0,080	12,725	0,207	0,251
1	2	0,98	16	4	48,9	0,094	17,747	0,213	0,259
7,8	1,90	3,75	34	4	42,1	0,065	28,556	0,453	0,550

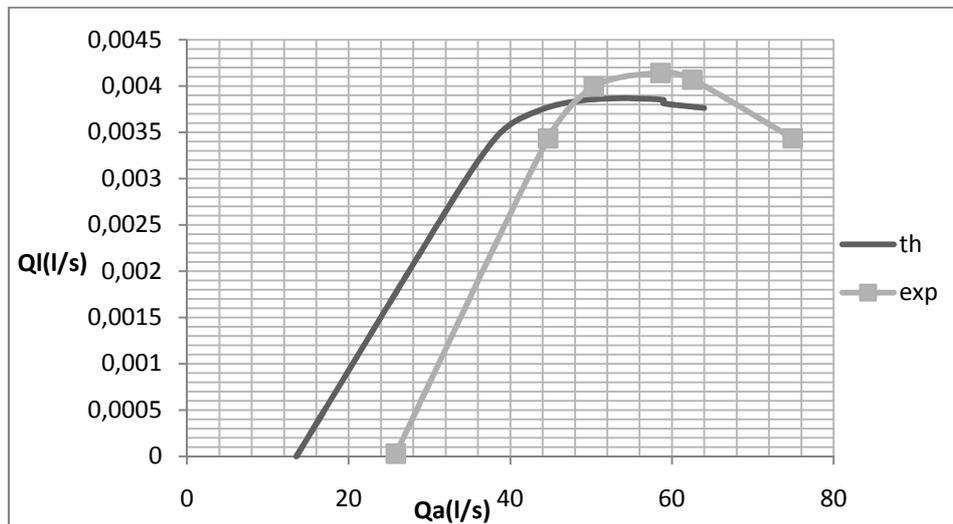


Fig. V- 1: $Q_l = f(Q_a)$ pour $\alpha= 0.21$

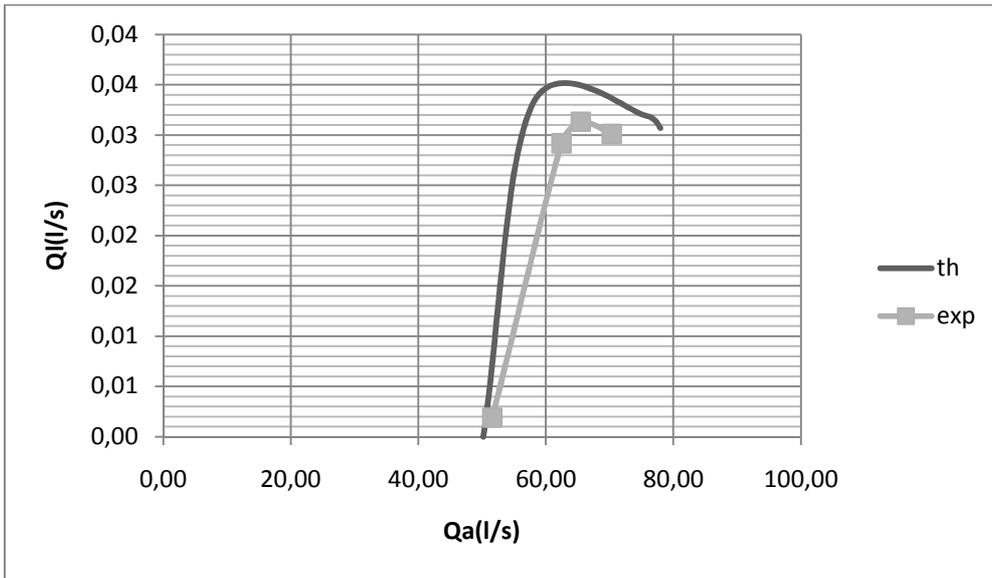


Fig.V-2: $Q_l = f(Q_a)$ pour $\alpha = 0.28$

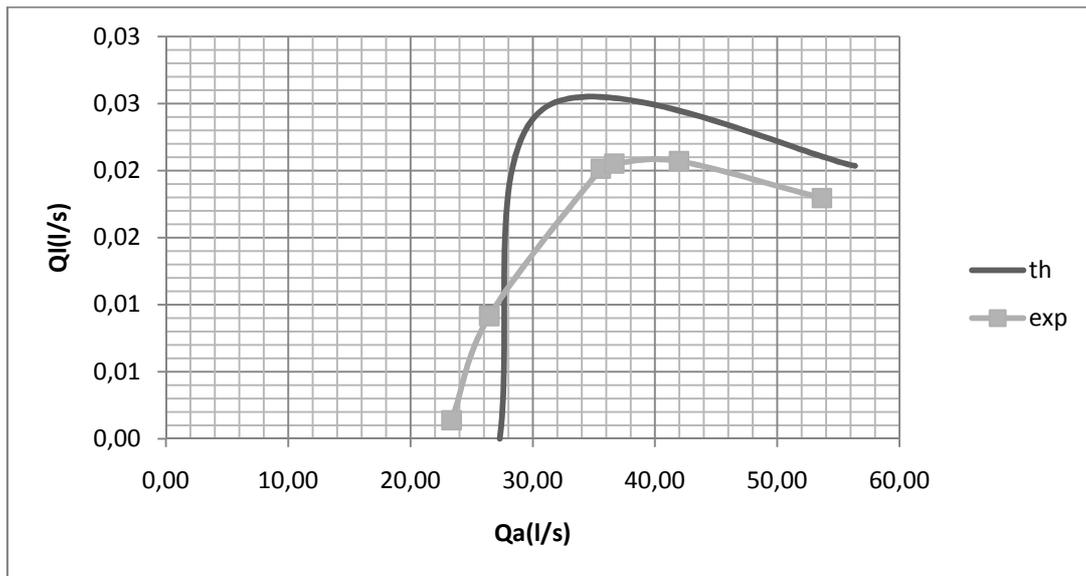


Fig.V-3: $Q_l = f(Q_a)$ pour $\alpha = 0.39$

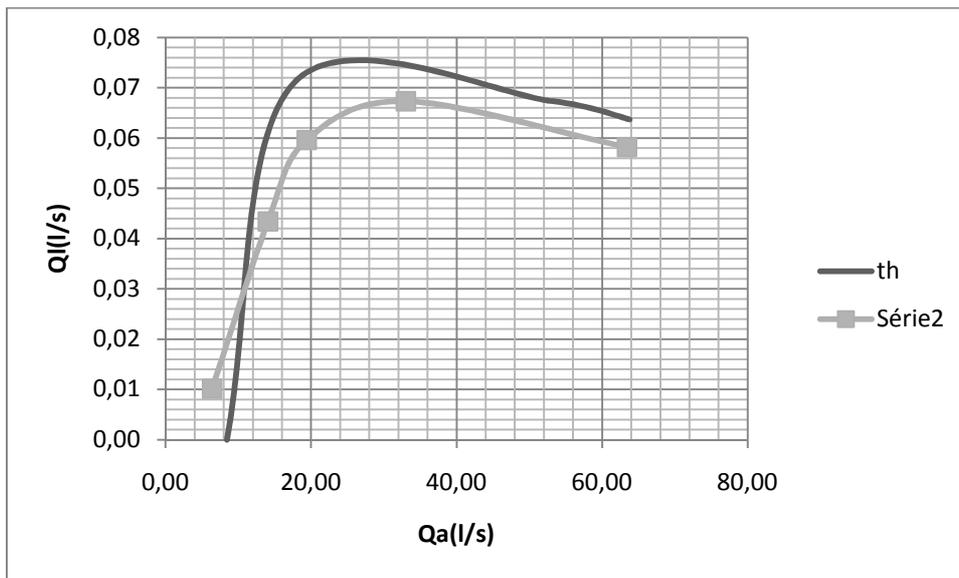


Fig. V-4: $Q_l = f(Q_a)$ pour $\alpha = 0.5$

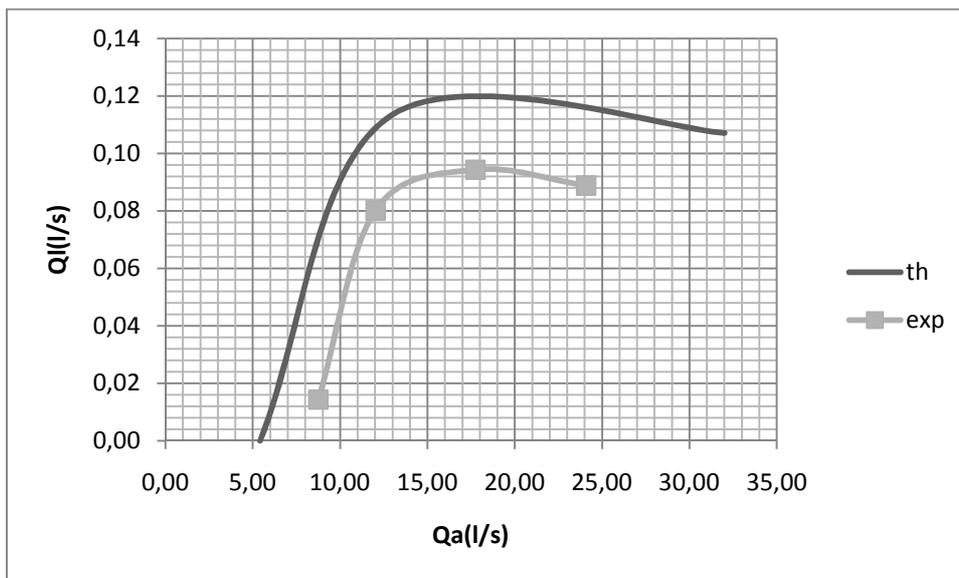


Fig. V-5: Débit liquide en fonction de débit d'air pour $\alpha = 0,68$

1.2. La variation de débit spécifique en fonction de l'immersion relative

Pour un fonctionnement optimal de d'air lift, le débit spécifique q est obtenu en faisant le rapport du débit d'air optimal sur le débit liquide optimal.

Ces deux derniers sont obtenus en traçant la tangente à la courbe $Q_l = f(Q_a)$.

Tableau .V- 6: variation du débit spécifique q en fonction de l'immersion relative α

α	0,21	0,28	0,35	0,5	0,68
$Q_{a\ opt}(\frac{L}{S})$	51	65	20	21	11,5
$Q_{l\ opt}(\frac{L}{S})$	0,00416	0,029	0,03	0,06	0,08
q	12259,6154	2241,379	666,666	350	143,75

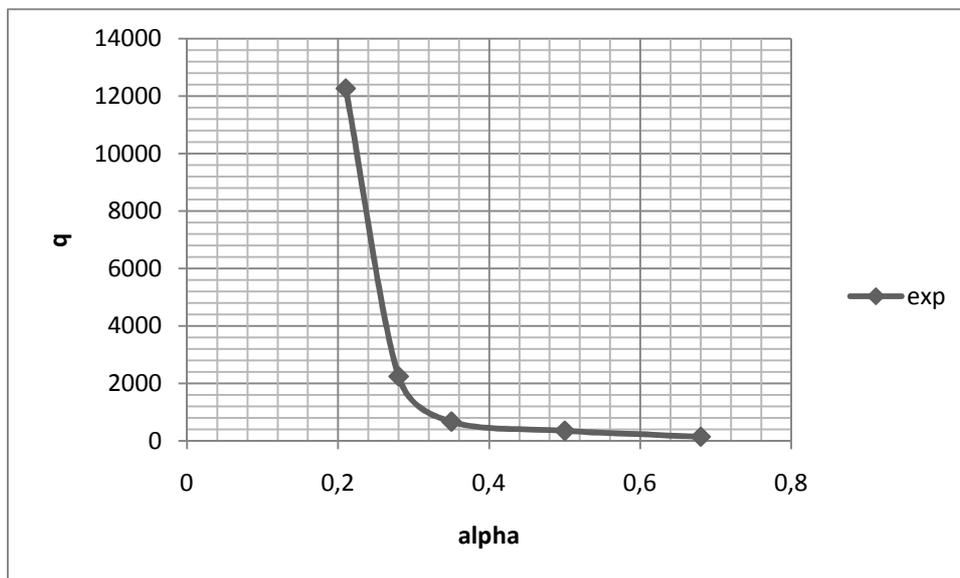


Fig. V-6: Débit spécifique en fonction de α

1.3. Variation coefficient de débit en fonction de q et α

Tableau. V- 7: Coefficient de débit

α	0,21	0,28	0,5	0,68
q	12259,615	2241,379	350	143,75
KQ_{th}	0,015	0,040	0,134	0,244
KQ_{exp}	0,012	0,059	0,146	0,264
KQ_{th}/KQ_{exp}	1,215	0,680	0,920	0,926

$$\frac{KQ_{th}}{KQ_{exp}} = 0,936$$

D'après ce rapport on remarque que KQ_{exp} proche de KQ_{th}

En faisant une comparaison entre la courbe de la fig. V-7 et la courbe fig. V-7 , on constate qu'elles ont presque la même allure, mais un petit décalage existe entre les deux courbes.

Ce dernier est dû aux erreurs de lecture, et d'instruments de mesure.

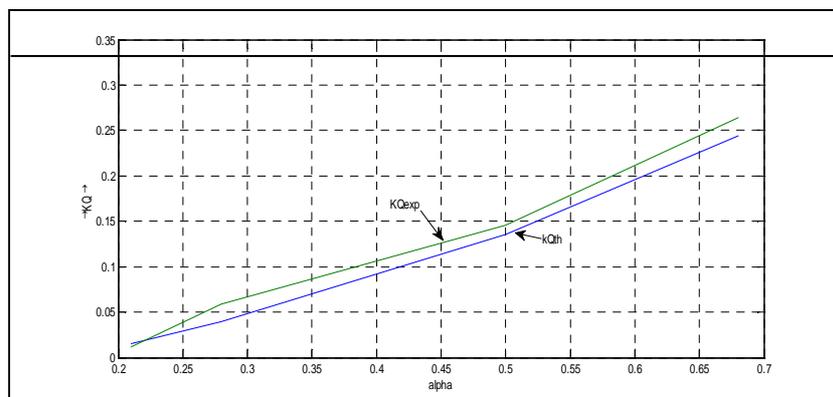


Fig. V-7 : Coefficient de débit en fonction de α

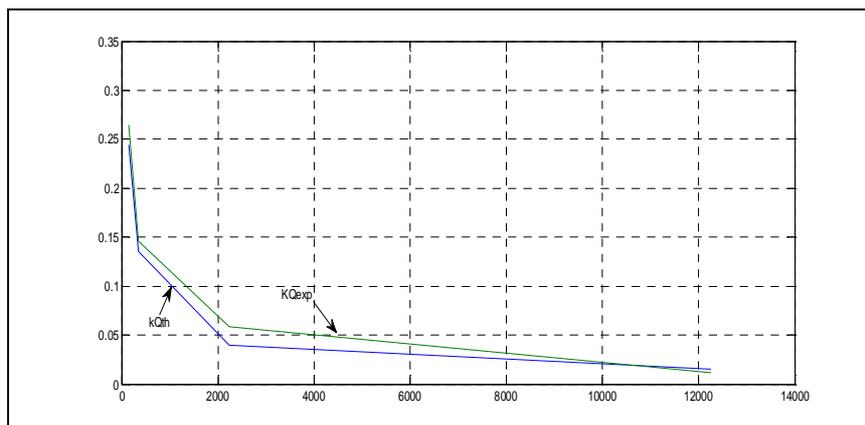


Fig. V-8: Coefficient de débit en fonction de débit spécifique

1.4. Variation de la perte de charge en fonction du débit spécifique q et en fonction de l'immersion α :

Le coefficient de débit spécifique de l'air lift est déterminé d'après la relation (III.38)

Chapitre V

Résultats, Analyse des résultats

Tableau .V-8: pertes de charge, coefficients de résistance

α	0,21	0,28	0,35	0,5	0,68
$h(m)$	0,4	0,545	0,684	1,04	1,385
$H(m)$	1,51	1,4	1,261	1	0,654
q	12259,615	2241,379	666,666	350	143,75
$Q_l(m^3/s). 10^3$	0,00416	0,029	0,03	0,06	0,08
$\rho_a(K_g/m^3)$	0,081	0,446	1,497	2,849	6,908
$aa'. Q_l^2$	65430,421	11747,713	3494,625	1749,405	718,977
$aa'. 10^6$	378	13,968	3,883	0,485	0,1123
$P_m(bar)$	0,021	0,028	0,0035	0,01	0,068
$aa'. Q_m^2. 10^{10}$	963,24	5,7451	0,155	0,0213	0,00343

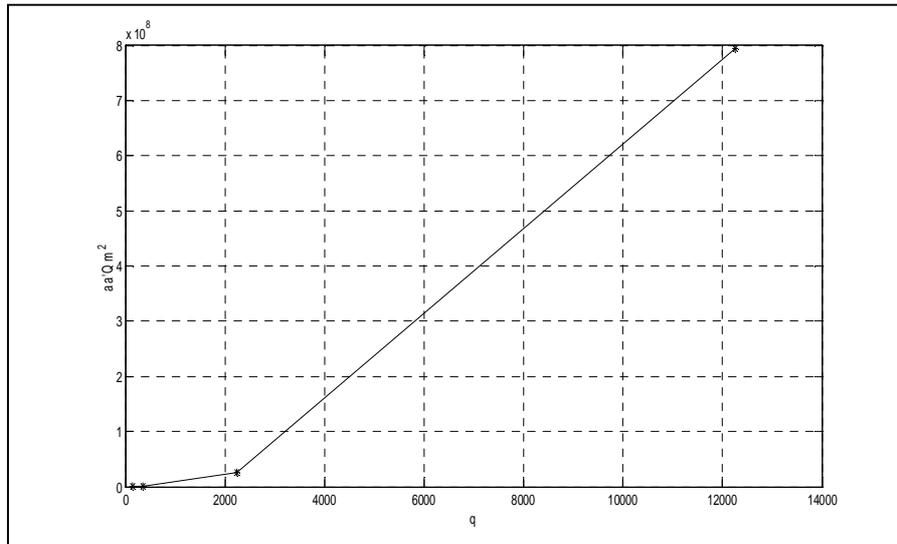


Fig. V-9: Perte de charge en fonction de débit spécifique

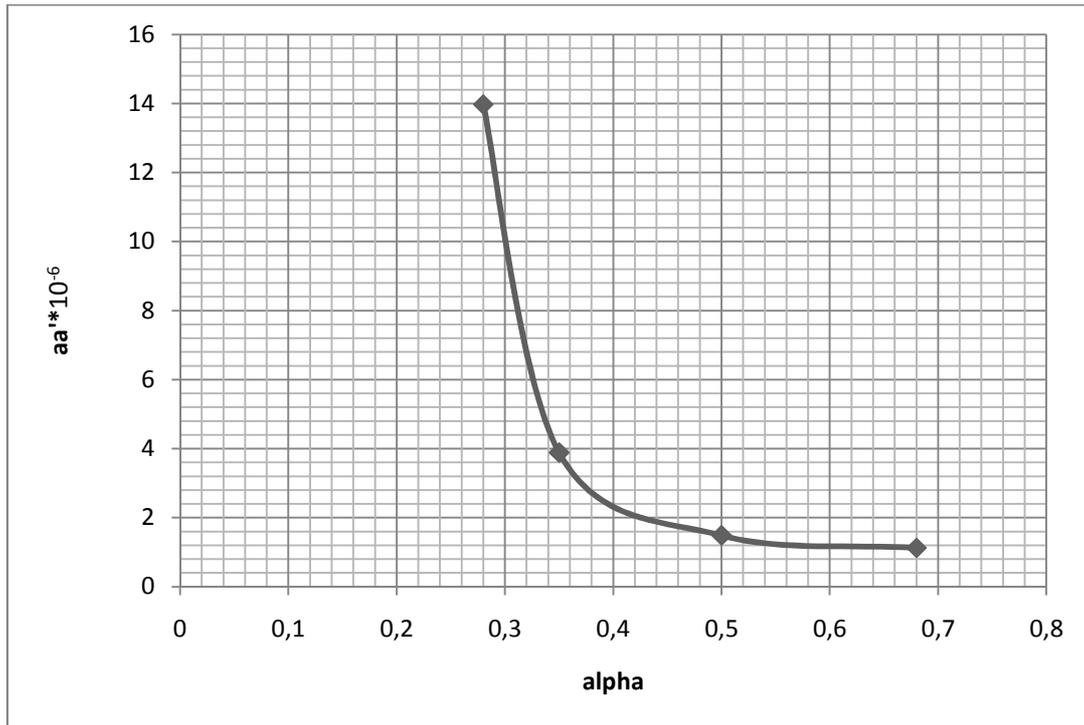


Fig. V-10: Perte de charge en fonction de α

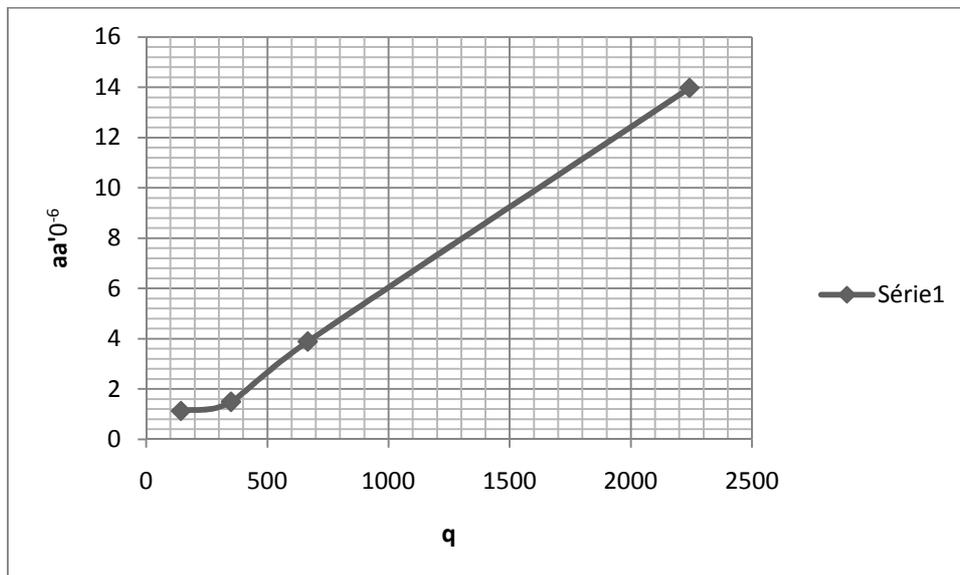


Fig.- 11: Coefficient de résistance spécifique de l'air lift

2. Interprétation des résultats

Afin de déterminer un domaine de fonctionnement optimal du système d'air lift, faisons l'interprétation des différentes courbes en fonction des caractéristique principales q , α .

2.1. Variation $Q_l = f(Q_a)$

Cette courbe nous permet de voir la variation du débit liquide en fonction du débit d'air

Pour des déférentes immersions obtenues absolues (h) et relatives (α) le débit liquide maximum est différent ainsi le débit d'air minimal.

En faisant varier l'immersion relative α , on remarque que la valeur de débit liquide augmente contrairement au débit d'air qui diminue avec augmentation de α .

La diminution du débit d'air s'explique par le faite que la hauteur de refoulement H diminue lorsque α augmente.

D'après la caractéristique énergétique de l'air lift donnée, on remarque que les rendements maximum de système ne correspondent pas au débit liquide maximum mais à un débit liquide inférieur.

Le débit liquide est optimal et peut être obtenu en traçant la tangente à la courbe $(Q_l) = f(Q_a)$.

2.2. Variation $q=f(\alpha)$

On remarque que le débit spécifique q diminue quand l'immersion relative augmente. Et inversement, quand α augmente, la hauteur de refoulement H revient petite et le débit d'air nécessaire pour élever le liquide a cette hauteur H devient faible, et lorsque α devient faible la hauteur de refoulement H tend a devenir très grand devant l'immersion absolue h, ce qui nécessite un important débit d'air et donc un important débit spécifique.

Pour les grandes valeurs de α le débit spécifique q est faible , donc un débit d'air relativement faible devant le débit liquide , ce qui laisse penser à un fonctionnement économique du système , mais comme la hauteur de refoulement H dans ce cas est très petite devant l'immersion absolue h , le système devient non intéressant dans la pratique.

Par ailleurs pour des petites valeurs de α le débit spécifique q est important donc des valeurs très importantes du débit d'air d'où une grande dépense d'énergie pour donner finalement un débit liquide insuffisant.

D'après ces deux considérations on est amené à trouver un domaine de fonctionnement optimal et économique su système.

Pour les débits spécifiques relativement faibles, on limite la valeur de l'immersion relative α dans l'intervalle suivant

$$0,28 \leq \alpha \leq 0,39$$

2.3. Variation perte de résistance

Le coefficient de résistance est un coefficient qui englobe toutes les pertes de charge qui peuvent être occasionnées le long de la conduite de refoulement.

D'après la courbe $aa'_m = f(\alpha)$ on peut remarquer que pour des immersions relatives (α) importantes la hauteur de refoulement H est très faible ce qui explique les faibles valeurs de la résistance.

Par contre lorsque α diminue la résistance augmente car la hauteur de refoulement devient importante.

En ce qui concerne la courbe $aa'_m = f(q)$. On remarque que pour les faibles valeurs de débit spécifique correspond une faible résistance, et pour des grandes valeurs des débits spécifique correspondant de grandes valeurs de la résistance.

En effet lorsque la quantité d'air injectée dans le mélangeur est faibles, les pertes d'énergie le long de la conduite de refoulement sont faibles par contre lorsque la quantité d'air augmente et donc q augmente le bouchon se trouve perturbée où et on aura l'apparition de la configuration annulaire où les pertes par glissements sont très importantes.

2.4. Variation $KQ = f(q)$, $KQ = f(q)$

On remarque que le coefficient de débit augment avec l'augmentation de coefficient d'immersion relative α elvé.cela s'explique du fait que si α est grand la hauteur de refoulement H diminue est la hauteur d'immersion h augmente , donc dans ce cas il faut un faible débit d'air comprimé pour obtenir un débit liquide suffisamment grand .

La courbe $KQ=f(q)$ montre que pour un débit spécifique q faible le coefficient de débit KQ est grand.

La représentation graphique de variations du débit liquide en fonction de débit d'air pour plusieurs valeurs différentes de l'immersion relative α fait apparaître l'existence d'un point optimal correspondant à un rendement maximum du système de l'air lift.

De ce point de vue on a pu tirer un paramètre adimensionnel q appelé débit spécifique qui est le rapport du débit d'air et du débit liquide correspondant à la configuration bouchon pour laquelle le transfert d'énergie est quasiment totale.

Les deux paramètres adimensionnels α et q ont d'ailleurs été mis en évidence par analyse dimensionnelle.

Chapitre V

Résultats, Analyse des résultats

Les courbes expérimentales, possèdent toutes la même allure que celles obtenus par d'autres expériences et confirment ainsi la théorie.

Moyennant certaines pertes d'énergies qui sont localisées en majorité au niveau du mélangeur, le système est auto-réglable du fait qu'il travaille en régime turbulent lisse et par une simple manœuvre sur le débit de gaz.

Enfin la constitution d'autres paramètres adimensionnels nous a permis de tracer la caractéristique et de faire apparaître un intervalle commun pour quel système à air lift court.

Conclusion Générale

Une technique importante testée dans ce projet était l'air lift

Ce modèle, permet de résoudre plusieurs problèmes posés dans la pratique, tant dans les domaines hydrauliques que choisis tant d'autres, vu sa facilité de construction, son revenu économique en puissance fournie et sa durabilité.

Il a été envisagé, à partir de la détermination des caractéristiques énergétiques, où il prend des différentes configurations des écoulements diphasiques en fonction du débit d'air et du rendement de ce système de pompage.

L'un de ces domaines est le développement du système de pompage par cette technique, qui est un sujet de recherche très important en mécanique de fluide. Car le pompage ordinaire ne peut pas répondre à certaines situations technologiques surtout le levage à des hauteurs très profondes, et le transport vertical des liquides ainsi que les mélanges du solide-liquide. Les objectifs de cette étude évaluent les performances du fonctionnement de la pompe sous des conditions prédéterminées et de l'optimisation des paramètres apparues lors de l'utilisation de la pompe pour les mélanges biphasés air et eau.

Sur cette idée, nous avons développé la deuxième partie de ce projet qui fait l'objet d'une étude pratique de la technique air lift, nous nous sommes intéressés à, l'extraction d'un puits d'eau, Pour cela, on a essayé de construire une petite installation de pompage par cette technique, on jouant sur les différentes caractéristiques (immersion relative, injection d'air), et découvrir d'autres problèmes inhérents à ce genre d'exploitation.

Lors de nos essais expérimentaux, il en est ressorti qu'effectivement les résultats pratiques sont conformes au résultat théorique.

L'objectif que nous nous sommes fixé est celui de la facilité de construction de pompage air lift.

Par la suite, nous avons abordé les difficultés liées à notre installation et essai de développer cette aidé par exemple application d'un système de pompage pour l'extraction d'un solide cas multiphasique, le diagnostic de ce système (faire changer le type de fluide, l'inclinaison de conduite de refoulement, déterminer la capacité de compresseur), automatisation de système pour faciliter la manipulation. Réutilisé cette technique dans un autre domaine tel que le système d'aquaculture.

Bibliographie

- [1] **A. BENTABOUCH, S. ZEGHLACHE.** « Etude expérimentale de l'Air lift » .Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, janvier 1988.
- [2] **A. FETHI.** « Ecoulement Gaz- Liquide dans les conduites », document Internet
« www.univ-nantes.fr ».
- [3] **A. NENES¹, A. COPOULOS¹, N. MARKATOS¹, et E. MITOULIS².** « Simulation of Airlift Pumps for Deep Water Wells»,¹Department of Chemical Engineering, National Technical University of AthensGreece,²Department of Chemical Engineering, University of Ottawa Canada.
- [4] **A. OUIGUINI.** « Écoulements diphasiques Application à une installation de transport pétrolier à partir d'un gisement off-shore », Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, promotion 2006.
- [5] **B. COLLINGNON, I.N.R.M Tlemcen-Algérie.** « Etude expérimentale des principaux paramètres des dispositifs de pompage d'air lift » 1986.
- [6] **B. GOURICH.** « Analyse et étude comparative des performances hydrodynamiques et de transfert gaz-liquide dans trois types de réacteurs poly phasiques » Thèse de doctorat d'état **spécialité génie des procédés**.29 Mai 2006.
- [7] **C. BEN TALHA, B. BOUZEMLAL.** « Etude théorique et pratique d'un écoulement diphasique » Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, promotion 1999.
- [8] **C. PELLETIER.** « Appareil de levage » AG 7010.
- [9] **D.J REINMANNE.** « A theoretical and experimental study of air lift pumping and aeration with reference to aquacultural applications », Université de Cornell. promotion 1987.
- [10] **D.J. REINMANNE, J.Y. PARLANGE et M.B. TIMMONS.** « Theory of small diameter air lift pumps » agricultural Engineering Department, Cornell University, Ithaca, NY 14853-5701, U.S.A.juine 1989.

- [11] **D J. REINMANNE, J. HANSEN, M. RAABE.** « Demonstration of airlift pump and lignocellulosics in recirculation aquaculture systems ». Department of Biological Systems Engineering University of Wisconsin-Madison, May 2001.
- [12] **G. ACHAZ.** « Introduction a la coalescence », Cours introductif février 2009
- [13] **G.B. WALLIS.** « One dimensional two phase flow », edition McGraw-hill 1969.
- [14] **G. F. HEWITT.** « Void fraction gas- liquid flow, multiphase flows, Electronic data center, 2005.
- [15] **G. HARRIS** « The theory of the air lift pumps » Professor of Engineering in the School of Mines of the University of Missouri 1893.
- [16] **G. KIMMERLIN.** « Gaz naturel », technique de l'ingénieur, BE 8 555.
- [17] **G. LAVERGNE, P. BERTHOUMIEU.** « Modélisation des écoulements diphasique a phase dispersée, 'application aux systèmes propulsifs' », congrès français en Mécanique, 03-07 septembre 2001.
- [18] **G. NDONGA, J. D'ALOIA, K. LILLIS, Z.O. GEPHARDT.** « Air lift technology models for aquaculture applications with a focus on Latin American », Department of Chemical Engineering Rowan University, Glassboro, NJ. June 2009.
- [19] **J.B. SIDNEY.** « Air lift history » Article, Louisiana State University. 2005
- [20] **J.M DELHAYE.** « Les écoulements diphasiques » DEA. Transferts thermiques et combustion, Option thermique, Ecole centrale des arts et manufactures, 1986-1987.
- [21] **J.P. BONNET.** « Phénomènes de transport dans les mousses métalliques : approche expérimentale des écoulements monophasiques et liquide-gaz » Thèse doctorat, Université de Provence Aix-Marseille, Spécialité Mécanique Energétique. Novembre 2007.
- [22] **K. AkiKa, S. FORTAS.** « modélisation des écoulements diphasiques dans une conduite cylindrique », Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, promotion 1997.
- [23] **M. BENNAJEH.** « Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation en réacteur air lift », l'institut nationale de Toulouse, département de génie de procédés et de l'environnement, 07-12-2007.
- [24] **M. ISHII.** « Thermo-fluid dynamic theory of two phase flow », edition Enrolls 1975.

[25] **M. LIRATNIA.** « Etude d'un écoulement diphasique » Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, promotion 1991.

[26] **A.BARGIELA², B. BOGDAN¹.** « Neural networks based decision support in presence of uncertainties », 1999.

[27] **P.L. FRAENKEL.** « Les machines élévatoires » Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, 1994.

[28] **P.R. KHLOPENKOV.** « Air-lift design theory» Springer link .October 1970, UDC 622.276.52.002.

[29] **S.SOUICI.** « Etude des phénomènes physiques en écoulement diphasique », Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, promotion 2006.

[30] **R.FARES, L. ABBAZ.** « Etude de l'extension de champs pétrolier de Hassi Messaoud » Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, **département hydraulique**, promotion 2008.

[31] **Z.HAMID.** « Etude d'un écoulement diphasiques air-eau dans une conduite cylindrique par le modèle cellulaire ». Thèse d'ingénieur d'état à l'école nationale polytechnique, **département hydraulique**. Promotion 2005.

[32] **SENBOUB**

[33] **S.VLADIMIR.** « Multi-Fluid model predictions of gas-liquid two-phase flow in vertical tubes » .University of Belgra de faculty of mechanical engineering

Les sites

[34] www.Encyclopédie_scientifique.hmt.

[35] « Dragage par godet » www.larousse.fr.

[36] Microsoft Encarta 2009.

[37] www.wikipédia.com