

**Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf -M'sila**



**Faculté de technologie
Département d'Hydraulique
MEMOIRE
Présenté pour l'obtention du diplôme
De MASTER
FILIERE : Hydraulique
Option : Ouvrage Hydraulique**

THEME

**Contribution à l'étude expérimentale d'un
système d'AIR LIFT**

Dirigé par :

Mr.MEZALI Farouk

Mr.MESSAHLI Rabie

Présenté par :

M. BEN NEDJEMA Ishak

M. BOUCHAREB Ahmed

Promotion : 2017/2018

Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU qui a illuminé notre chemin et qui nous a armé de courage pour achever nos études.

Nos remerciements vont à la famille : ben nedjma et . . .

Nous remercions fortement notre encadreur : Mr F. Mezali de

Nous avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but
de mener à bien ce travail.

Par la même occasion: Nous remercions,

Mr Messahli qui nous a beaucoup aidé par ces orientations ,

et ces précieux conseils, sa disponibilité tout au long de
l'élaboration

de ce travail pour élaborer cette étude.

A toutes nos familles ,nos amis et tous ceux qui ont contribué

de près ou

de loin à notre formation ;

soutenir, nous aider, et nous encourager

Dédicace

À travers ce modeste travail, je rends un grand hommage en signe de respect et de reconnaissance envers :

Ma très chère mère pour ses sacrifices afin d'atteindre mon but,

Mon feu père qui a participé par tous les moyens pour me porter l'aide morale et matérielle

Mes très chers frères : Djamel, Cissa, Belkacem et Moussa

Ma très chères sœurs Somia, Macira Rebeiha

Mes neveux et nièces: Khadija, Nada, Achref et Ahmed ;

Toute ma promotion. À tous les étudiants du département d'hydraulique

Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation jusqu'au cycle universitaire.

Ainsi qu'à tous mes amis qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager au cours de mes années d'études et de m'avoir plus d'une fois remonté le moral.

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

BEN NEDJEMA ISHAK

Dédicace

*À travers ce modeste travail , je rends un grand hommage en
signe de respect et de reconnaissance envers :*

*Ma très chère mère et mes grands parents paternels et
maternels, (que DIEU garde leurs âmes dans son vaste
paradis) pour ses sacrifices afin d'atteindre mon but, Mon
père qui a participé par tous les moyens pour me porter l'aide
morale et matérielle*

*Mes très chers frères : Mohamed abdessamed, abdel
ouahab, fares, Ma très chères sœur Messaouda et Mes
oncles*

*Toute ma promotion .À tous les étudiants du département
d'hydraulique*

*Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation
jusqu'au cycle universitaire.*

*Ainsi qu'à tous mes amis qui n'ont cessé de me soutenir et de
m'encourager au cours de mes années d'études et de m'avoir
plus d'une fois remonté le moral.*

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance

BOUCHAREB AHMED.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction général1

Chapitre I : Description de système de levage

1. Systèmes de levage6

1.1. Monte.....6

1.2. Roue persane7

1.3. Noria7

1.4. Pompe à Chaplet ou patenôtre7

1.5. Saquia8

1.6. Saquia où tympan8

1.7. Vis d'Archimède8

1.8. Pompe volumétrique9

1.8.1. Pompe à piston.....9

1.8.2. Pompe à piston plongeur.....9

1.9. Hydro pompe (Pompe hydraulique à pédale) 10

1.10. Pompe à diaphragme 11

1.11. Pompe centrifuge 11

1.12. Dragage par godet 12

2. Description des différents domaines de l'air lift 14

2.1. Domaine nucléaire14

2.2. Industrie chimique 17

2.3. Industrie pétrolière17

2.4. Domaine hydraulique17

2.4.1. Barrage17

2.4.2. Captage17

2.5. Traitement des eaux usées18

2.6. Domaine industriel22

2.7. D'autre domaine d'application22

2.7.1. Aération des lacs22

2.7.2. Système d'aquaculture	22
3. Pompage par air lift	24
3.1. Principe de fonctionnement	25
Conclusion	27

Chapitre II : Généralité sur les écoulements diphasique

1. Modèles géométrique.....	29
1.1.Régime d'écoulement	29
1.1.1. Régime à bulles	29
1.1.2. Régime à poches	30
1.1.3. Régime à churn (écume)	30
1.1.4. Régime annulaire.....	30
1.2. Carted'écoulement	33
1.2.1 Explication de carte	34
2. Phénomènes physiques	35
2.1. Coalescen.....	35
2.2. Atomisation	36
2.3. Fluidisation	36
2.4. Flooding	37
3. Définition des paramètres caractéristiques	37
4. Modèles cinématique	39
4.1. Définition d'un modèle.....	39
4.1.1. Modèle à phase séparées	39
4.1.2. Modèle homogèn	40
4.1.3. Modèle à flux de dérive	44
4.1.4. Modèle multi fluide	44
Conclusion	44

Chapitre III : Etude analytique de l'air lift

1. Description de la phénoménologie et leurs expressions	45
2. Caractéristiques énergétiques de l'air lift	51
3. Coefficient spécifique du la conduite de l'air lift	52
4. Débit spécifique de l'air comprimé	53
4.1. Longueur du tube d'air	54
4.2. Longueur du tube d'eau	54
4.3. Niveau dynamique	54
4.4. Niveau statique	54
4.5. Pression maximale délivrée par le compresseur	54

4.6. Pression de service	55
4.7. Débit d'air du compresseur	55
4.8. Section utile du tube d'eau	55
4.9. Diamètre intérieur de tube d'air	56
4.10. Diamètre extérieur de tube d'air	56
4.11. Forme extérieur du tube d'eau.....	56
4.12. Forme de l'injecteur d'air	56
4.13. Facteur de submersion	56
5. Conséquence générales	57
5.1. Choix du rapport d'immersion	57
5.2. Choix du diamètre du tube	57
4.3. Choix du débit d'air	57
5.4. Choix du diamètre de la conduite lors de refoulement des grains solides	57
5.5. Influence de taille et de la concentration des éléments solides	57
6. coté programmation	58
6.1. Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)	58
6.2. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes α	58
6.3. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes diamètres	59
Conclusion	64

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	70
6. Etalonnage des instruments de mesures	71
6.1. Diaphragme	71
6.1.1. Etalonnage de diaphragme	73
6.2. Déversoir triangulaire	74
7. Explication physique de phénomène.....	79
8. Variation du débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes α :	81
9. Interprétation des résultats	83
Conclusion	84
Conclusion générale	85
Bibliographie	

Liste des figures

Fig. I-1: Elévation du liquide par la motricité animale	6
Fig. I-2: Roue persane	7
Fig. I-3: Noria	7
Fig. I-4: Pompe à chapelet	8
Fig. I-5: Saquiya	8
Fig. I-6: Saquiyaou tympan	8
Fig. I-7: Pompe à vis d'Archimède	9
Fig. I-8: Pompe à piston	10
Fig. I-9: Pompe à piston plongeur	10
Fig. I-10 : Pompe hydraulique à pédale	10
Fig. I-11: Pompe centrifuge	12
Fig. I-12: Chaîne de godet	12
Fig. I-13: Domaines d'utilisation de l'air lift	14
Fig. I-14: Schémade fonction nement d'un réacteur nucléaire à eau ouillabnte (BWR)	15
Fig. I-15: Schéma defonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau repssurisée (PWR).....	16
Fig. I-16: Schém de fonctionnement d'une centrale thermi que	16
Fig. I-17: Exploitation des gisements de pétrole. [2].....	17
Fig. I-18: Production d'un puits d'eau	18
Fig. IV-19: Dessableur	19
Fig. I-20: Différentes agitations	20
Fig. I-21 : Air lift à boucle externe	21
Fi g. I-22: Air lift à boucle interne	21
Fig. I-23 : Système de recirculation d'un lac	22
Fig. I-24: Aquarium par technique air lift	23
Fig. I-25: Aération des poissons	24
Fig. I-26: Système de pompage par air lift. [26]	26
Fig. II-1 : Régime d'écoulement diphasique vertical	30
Fig. II-2: Régime d'écoulement diphasique en conduite vertical (images réels)	31
Fig. II-3: Régime d'écoulement diphasique en conduite horizontale	31
Fig. II-4 : Différents régimes d'écoulement diphasique	32
Fig. II-5: Écoulements en conduite inclinée en fonction de la vitesse superficielle du gaz. [13]	33

Fig. II-6 :Carte d'écoulement diphasique	34
Fig. II-7:Phénomène de coalescence	35
Fig. II-8:Esquisse bidimensionnelle de l'atomisation d'un écoulement liquide	36
Fig. III-1:Principe de la technique air lif	46
Fig. III-2:Paramètres introduits dans le calcul de résistance spécifique	52
Fig. III-3 Formes des injecteurs d'air	56
Fig. III-4:Variation de débit liquide en fonction de débit d'air ($\Psi=0.078$)	61
Fig. III-5 :Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)	61
Fig. III-6:Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes diamètres (court)	62
Fig. III-7:Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes diamètres (long)	62
Fig. III-8:Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs d'alpha (court)	63
Fig. III-9:Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs d'alpha (long).....	63
Fig. IV-1:Compresseur	66
Fig. IV-2:séparateur	66
Fig. IV- 3:Schéma réel et dessin technique de mélangeur	67
Fig. IV-4 :Réservoir d'alimentation	67
Fig. IV-5:Limnimétrie	68
Fig. IV- 6:Manomètre	68
Fig. IV- 7:Description schématique de l'installation	69
Fig. IV-8:Branche B de l'installation	70
Fig. IV- 9:Diaphragme	72
Fig. IV-10:Prises de pression au niveau de diaphragme	72
Fig. IV-11:Courbe d'étalonnage du manomètre à eau incliné	73
Fig. IV-12:Déversoir triangulaire	74
Fig. IV- 13: L'angle Fen fonction de coefficient μ	75
Fig. IV-14:Dimension de déversoir triangulaire	75
Fig. IV- 15 :Réservoir de mesure de volume	77
Fig. IV-16:Courbe d'étalonnage de déversoir	78
Fig. IV-17:Schéma	80
Fig. IV-18:Schéma	81
Fig. IV.19: débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,21$	82
Fig. IV.20: débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,5$	82

Liste des tableaux

Tableau. IV-1 : μ en fonction de θ	74
Tableau. IV-2 : caractéristique de réservoir triangulaire	75
Tableau IV- 3:Etalonnage de déversoir triangulaire	77
Tableau. IV-4 : Mesure de μ	78
Tableau. IV-5: L'erreur sur le déversoir triangulaire	79
Tableau .IV-6 : débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0.21$	81
Tableau .IV-7 : débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,5$	82

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 a 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 : L e 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 :

Une des directives des nouvelles technologies est le développement des transports par conduites horizontales ou verticales. Dans les dernières décennies, ce type de transport a connu une importance de plus en plus grande correspondant à une augmentation croissante des quantités de produits mis en œuvre et des consommations, faisant par la même ressortir l'intérêt de ce développement.

Les transports hydrauliques constituent l'une des perspectives de ce développement.

Il s'agit du transport des corps solides par courant d'eau, transport de gaz ou du mélange liquide-gaz ou encore liquide-gaz-solide.

Les avantages de ce type de transport, en plus de son adaptation à tous les domaines de pompage et de transport de produits fluidifiés, sont :

Continuité et durabilité du processus

Simplicité de sa construction

Sûreté et stabilité du fonctionnement

Minimum d'énergie requise pour sa maintenance et sa mise en marche. Un fonctionnement durable.

L'air-lift est le représentant de cette nouvelle technologie. Il se compose en général, d'un système de conduites, démunie des accessoires mobiles (en général, système mécanique complexe) et utilise seulement de l'énergie fournie par l'air comprimé.

A l'échelle mondiale et particulièrement dans les pays développés, beaucoup de travaux et expériences ont été réalisés pour étudier le système d'air-lift afin d'étendre son domaine d'utilisation.

Déjà, très tôt, c'est en 1797 qu'un ingénieur allemand, Carl E. Loescher, a découvert le concept de pompe par air-lift dans la pratique de l'industrie minière où il l'a trouvé utile pour pomper l'eau des puits [in Castro et Al, 1975]. On a vu par la suite beaucoup de première utilisation de la pompe d'air-lift dans l'industrie de charbonnage à cause de sa capacité d'extraire des minéraux des mines et puits profonds.

On n'a pas vu la première application pratique de cette technologie aux États-Unis que jusqu'à 1846 où elle a été utilisée en Pennsylvanie dans l'industrie de gisement de pétrole [Castro et al, 1975].

Les pompes d'air-lift ont été utilisées pour la collection de type d'eau de mer [Tokar et al, 1981] aussi bien que pour la circulation d'eau et que pour l'aération dans les étangs d'aquaculture [Parker et Suttle, 1987; Wurts et al, 1994].

Les pompes air-lift ont aussi vu beaucoup d'utilisation dans des systèmes de recirculation d'air en aquaculture (Recirculation Aération System) à cause de leur capacité d'aérer, de faire circuler et de dégazéifier le CO₂ de la colonne d'eau [Loyless, 1995; Gudipati, 2005; Castro, 1975; Reinemann et al, 2001)].

Reinemann et al (1987) ont rapporté qu'approximativement un tiers de l'énergie pour une pompe air-lift correctement conçue a été nécessaire pour toutes les opérations du système global comparativement à un système traditionnel supporté par une pompe centrifuge et d'un aérateur. On peut voir des conclusions similaires dans des études conduites par Castro et Zielinski, 1980; Castro et al, 1975, Reinemann et al, 2001.

Le système d'air-lift est aussi examiné pour la première fois, lors de l'exploitation des gisements pétroliers. En effet, au cours de la phase primaire d'exploitation qui vient juste à la suite de la découverte du gisement, la production est assurée par la déplétion naturelle jusqu'à épuisement

On a compris alors que le pétrole contenu dans les roches réservoirs est refoulé par le biais d'un gaz comprimé se trouvant dans celui-ci. On dit que le gisement est à pression. Au fur et à mesure de sa dépression, ce gaz comprimé véhicule le pétrole et le fait jaillir jusqu'à épuisement (ou décompression). La pression du gisement chute alors considérablement et la production aussi.

En comprenant ce processus de déplétion naturelle, les chercheurs pétroliers ont pu améliorer la production du brut, en utilisant le phénomène qui régit l'air-lift. Dans le jargon des pétroliers on l'appelle gaz-lift : c'est la deuxième phase d'exploitation.

A la phase secondaire, on met en œuvre une injection de gaz dans le gisement pour maintenir la pression en place et conserver le rythme de production.

L'air-lift en tant que dispositif hydraulique de pompage, se manifeste dans plusieurs domaines, où l'application des procédés de pompage ordinaires et classiques deviennent impossibles, dans certains cas dangereux et dans d'autres cas reviennent trop chers.

Ces domaines concernent, notamment, l'envasement des barrages où le taux de la vase atteint en général 43 à 80% du volume initial de la retenue, ainsi la durée de vie des barrages se trouve réduite et conduira à une exploitation imparfaite de celui-ci. Les procédés classiques d'évacuation des sédiments, on citera, [Giot (1986)] par exemple, le dragage, utilisant soit une pelle mécanique, engin très lourd, reposant sur un bateau, soit des pompes spéciales de dragage où l'usure des parties de la pompe en contact avec le mélange (eau-solide) à refouler étant considérable.

Une des solutions consiste à surélever la crête du barrage par des vannes fusibles quand son volume se trouve très réduit. Celle-ci coûterait beaucoup plus cher que la construction d'un nouveau barrage.

Ces opérations sont très coûteuses et entraînent des investissements très lourds et importants [W.H.Graf, 2000]. L'air-lift se révèle le procédé idéal d'évacuation des vases.

Dans l'industrie chimique, le refoulement des liquides agressifs (acides ou bases), et des liquides

de forte viscosité (comme l'huile lourde, où les pertes d'énergie dues aux frottements sont considérables), nécessitent des pompes très spéciales et très chères. Donc l'air-lift, confirme encore son utilisation dans des domaines divers et variés.

Toutefois, tout calcul hydraulique de ce système passe nécessairement par la détermination du facteur énergétique gradient de pression ou perte de charge dans une conduite simple. Celle-ci étant partiellement remplie en gaz ou air comprimé et en eau ou un liquide quelconque. Chacune de ces substances est représentée par une fraction rapportée au volume du mélange. Très souvent, on retrouve dans la littérature celle de la fraction la plus légère, l'autre est le complément à l'unité.

Seulement, si la caractérisation du mélange de point de vue géométrique paraît simple, il n'est pas de même lorsqu'il s'agit de décrire son comportement dynamique. Ainsi, au cours du fonctionnement du système, la fraction prend toutes les valeurs possibles comprises entre zéro et un et le mélange exécute d'une façon aléatoire ce qu'on appelle configuration (Image représentant une certaine distribution des deux constituants gaz et liquide) allant d'une conduite pleine en liquide à une conduite pleine en gaz. Si le calcul et particulièrement le dimensionnement de ces deux cas extrêmes connaît un développement suffisant en matière de connaissance, pour le mélange celle-ci reste toujours rudimentaire, fragmentaire et ne revêt pas de caractère universel.

Celle-ci est due essentiellement à un manque dans la situation de la configuration qui requière de prime à bord la connaissance in situ d'un ensemble de paramètres mécaniques relatifs à chaque composants. Pour un écoulement diphasique air-eau dans une conduite verticale, l'ensemble des chercheurs ayant travaillé sur le sujet considèrent une matrice de quatre configurations de base : configuration à bulles, poche-bouchon, chaotique et annulaire. Wallis,(1969) donne un aperçu théorique sur ces dernières, supportées par un ensemble de corrélations sur des expériences variées. En raison du manque d'une base théorique universelle, les configurations ne se prêtent pas à la généralisation. Du fait de son exploitation dans les systèmes air-lift la configuration poche-bouchon a connu d'importantes explorations expérimentales. Notons que de point de vue expérimental, la manipulation de l'appareillage est extrêmement lourd, cher et qui ne devient accessible que pour la recherche. On sait que pour une simple mesure de taux de remplissage de la conduite exige le traitement de signal d'une sonde par caméra ultra-rapide, quant à sa variation ceci implique encore énormément de moyens de mesure (F. Alloui).

Tout les chercheurs dans ce domaine [Wallis (1969), Ishii (1975)] s'accordent à dire que la mécanique du mélange diphasique est régit par les mêmes équations d'équilibre mécanique des fluides monophasiques, à une différence près que cette dernière est compliquée et qui s'appuie sur la détermination des paramètres locaux et instantanés des caractéristiques mécaniques et thermodynamiques du mélange, la vitesse, pression entre autres. Or, ces derniers ne sont accessibles qu'à un prix très fort tant de point de vue expérimental que par l'effort théorique.

Par une approche monophasique du mélange air-eau introduit sous la base d'un modèle diphasique homogène, supportée par un bilan de puissance global projeté sur toute l'installation air-lift, on tentera à travers ce modeste travail d'écrire les équations analytiques de

fonctionnement d'un système air-lift quelconque. Lequel modèle déduit est supposé traduire un équilibre cinématique phasique dans toutes les phases de travail de l'air-lift et indépendamment de la configuration. Cette tâche ne peut s'accomplir que par l'hypothèse de transformation isotherme de l'air comprimé au sein de l'eau pris comme un facteur majeur de détermination du rendement de tout le système. On explicitera son fonctionnement par des corrélations ayant un sens physique dans sa phase optimale et afférentes à ce domaine. A travers cela, on montre qu'il est possible de mettre le fonctionnement du système air-lift sous une base théorique analytique que l'on validera par une modélisation expérimentale.

On montre dans ce modeste travail :

Qu'il est tout d'abord possible de théoriser par des concepts et des bilans mécaniques, tout comme il se fait dans le cas d'une phase en l'occurrence homogène l'eau, un procédé de pompage réservé pour longtemps au domaine des mines pour pouvoir le généraliser à d'autres domaines comme nouvelle technologie qui répond parfaitement à leur attente. Ceci vient suite, aux tests réussis et confirmés en pratique et de pression accrue en besoin en quantité et en qualité enregistré ces dernières décennies dans divers domaines et variés.

C'est en même temps, une pompe et un écoulement, en présence de deux phases, air et eau dont les résultats serviront à de plus amples compréhension de ce domaine d'écoulements diphasiques et constituer une banque donnée.

Pour atteindre cet objectif, on conçoit les chapitres suivants :

On trouve dans le chapitre premier, un exposé bibliographique sur les différents modèles utilisés, le model phénoménologique, le model empirique et le model analytique basé sur les bilans de la mécanique des fluides.

Dans le chapitre deux et pour bien comprendre le fonctionnement, on développe des dépendances générales régissant le fonctionnement du système qui constitueront la base théorique. Elles seront basées en partie sur des approches analytiques.

Par une représentation graphique supportée par une base de calcul, un troisième chapitre sera consacré à l'analyse des résultats théoriques. A l'aide des considérations théoriques de travail optimal de l'air-lift, des modèles théoriques de calcul seront présentés.

Au quatrième chapitre, sur la base d'une approche adimensionnelle des paramètres, on réalise un modèle expérimental de laboratoire. On essaye à travers ce dernier, de reproduire et de contrôler le fonctionnement à une échelle réduite.

Au cinquième chapitre, on fera un traitement des résultats expérimentaux ainsi qu'une confrontation des qualitative et quantitative aux prédictions analytiques qui décideront de l'efficacité de l'approche théorique utilisée.

Au sixième chapitre, pour de plus ample précision sur le caractère optimal de la configuration poche-bouchon et à titre indicatif, on montrera qu'il est possible de formuler le problème par une équation différentielle d'énergie. Sur la base de critères bien connus, une caractérisation de la configuration sera présentée.

Au septième chapitre, après une analyse des résultats et pour permettre un calcul possible du système, voir même un dimensionnement, on complétera le manque d'informations sur certains paramètres d'influence du fonctionnement du système par la conception de corrélations entre des paramètres ayant un sens physique. Le traitement de données récoltées nous conduit à la proposition de corrélations de dimensionnement.

On donnera une conclusion générale sur le système lui-même par son rendement qui est faible certes, mais, de point de vu son utilité en tant que moyen incontournable, répondant aux schémas technologiques de pompage divers et variés, rendant le développement de certains domaines très prometteur, nous ne pouvons que le recommander pour plus de recherche. La précision des résultats expérimentaux confirmeront l'approche théorique utilisée.

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 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.

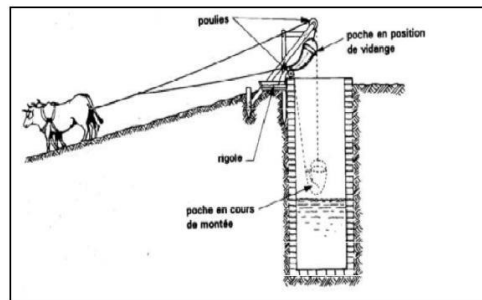


Fig. I-1: Elévation du liquide par la motricité animale

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).

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 cour roie. 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.

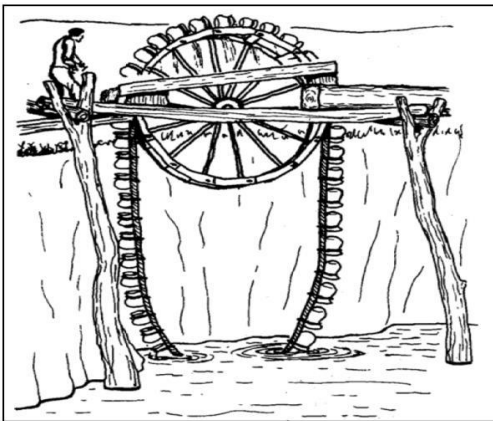


Fig. I-2: Roue persane

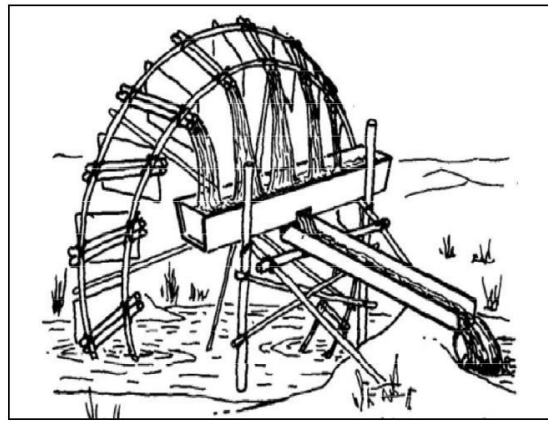


Fig. I-3: Noria

1.4. Pompe à chapelet ou patenôte

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 :

Chapitre 3

Description de Système de levage

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

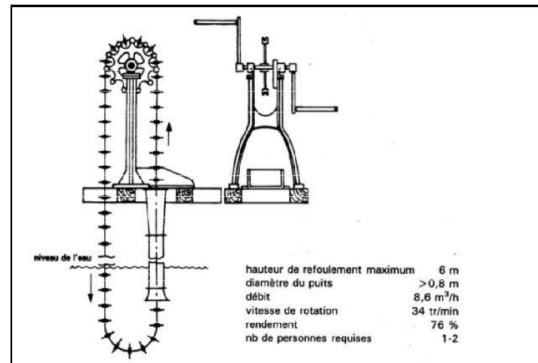


Fig. I-4: Pompe à chapelet

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 goulottela 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.

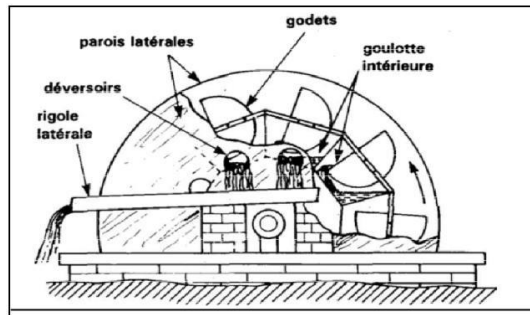


Fig. I-5: Saquiya

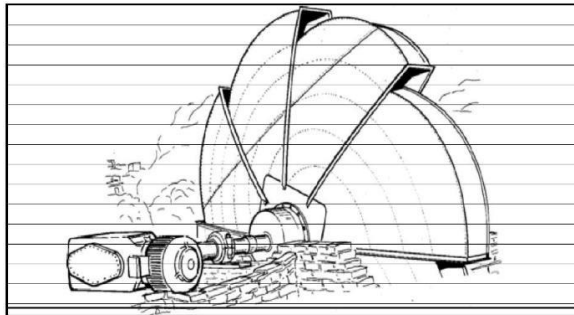


Fig. I-6: Saquiya ou tympan

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.

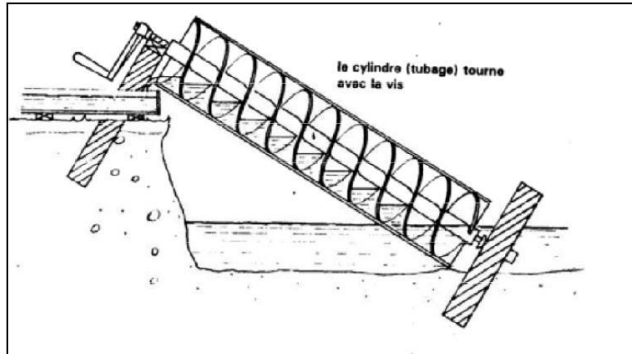


Fig. I-7: Pompe à vis d'Archimède

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

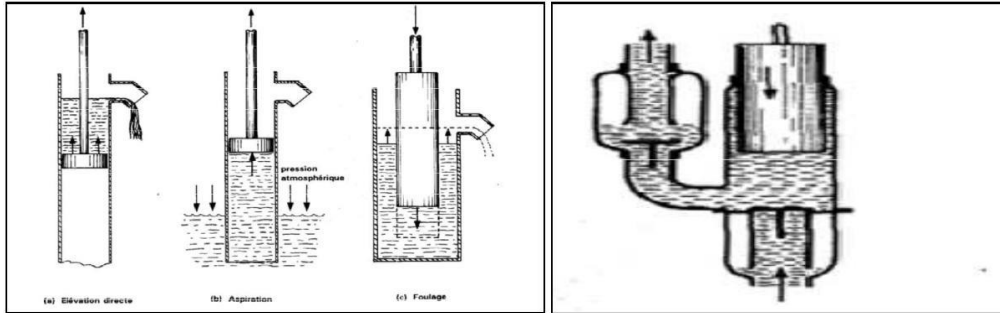


Fig. I-8: Pompe à piston

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 cl assique ;
- 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.

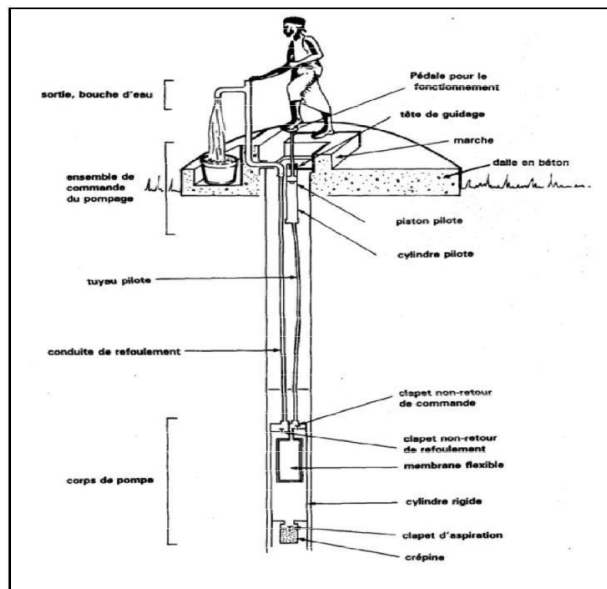


Fig. I-10 : Pompe hydraulique à pédale

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 défaillances deux clapets anti-retour.
- Un bon rendement mécanique. En effet, la flexion d'une membrane se fait avec beaucoup moins de frottement que le coulissement 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 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 dragages (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 susés 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

Chapitre 7

Description de Système de levage

Avantages :

- Le dragage est souvent effectué afin de créer des ondationsf sous-marines;
- Il facilite l'emplacement des pipelines et des éléments de Tunnels immergés;
- Il permet de construire des ouvrages de contrôle d es crues comme des barrages, digues ou remblais;
- Il assurer les défenses contre les inondations (en améliorant ou en maintenant la capacité de déchargement des cours d'eau);
- Il créer où maintient des capacités de stockage eneau ;
- 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 zonesdifficiles 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 important ;
- Pour le transport des produits multiphasiques ou corrosifs où les pompes ordinaire peuvent être endommagées après un temps de fonctionnement très limité;
- Dans le cas des puits pétrolier non exploité à cause de la pression insuffisante.

Pour cela un procédé a été mise en œuvre qui est latechnique **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'autres applications.

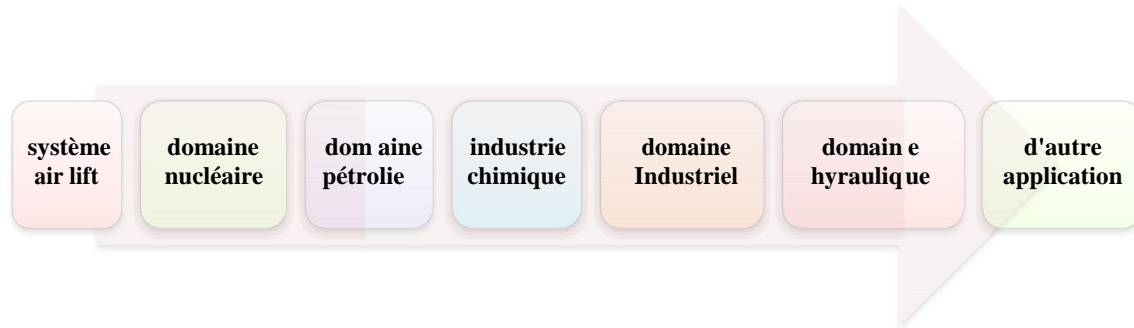


Fig. I-13: Domaines d'utilisation de l'air lift

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

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

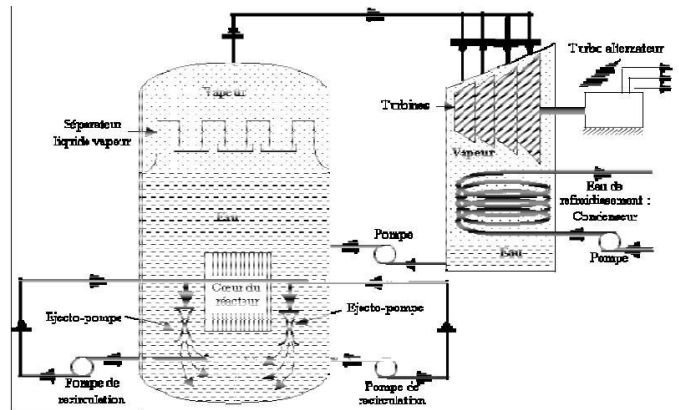


Fig. I-14: Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau bouillante (BWR)

a.2. Réacteurs à Eau Pressurisé

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

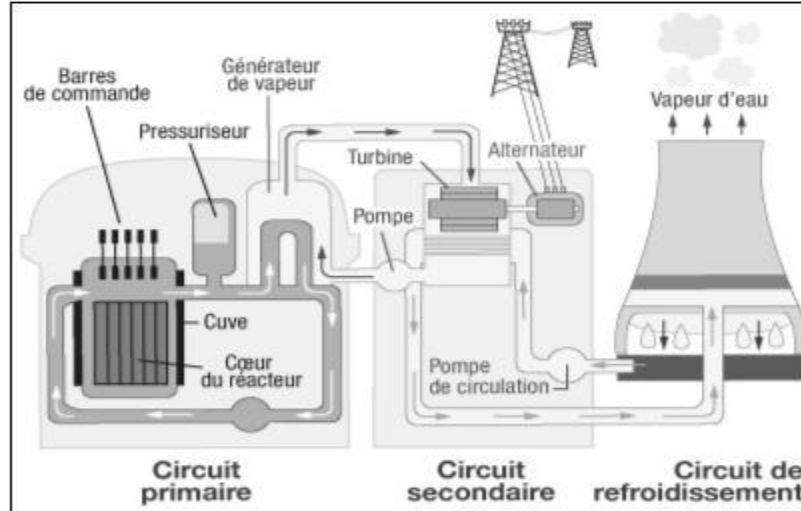


Fig. I-15: Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée (PWR)

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.

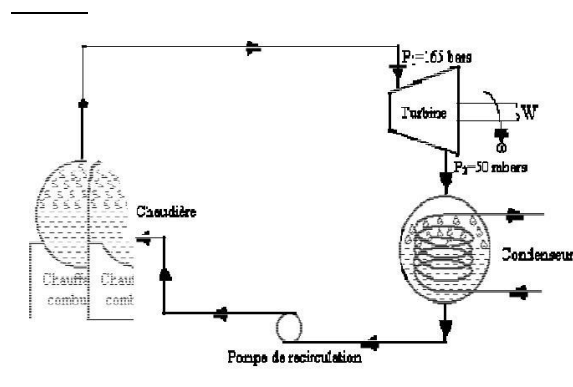


Fig. I-16: Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique

2.2. Industrie chimique

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 lorsde 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 naturel 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 vieéconomome. [3], [2]

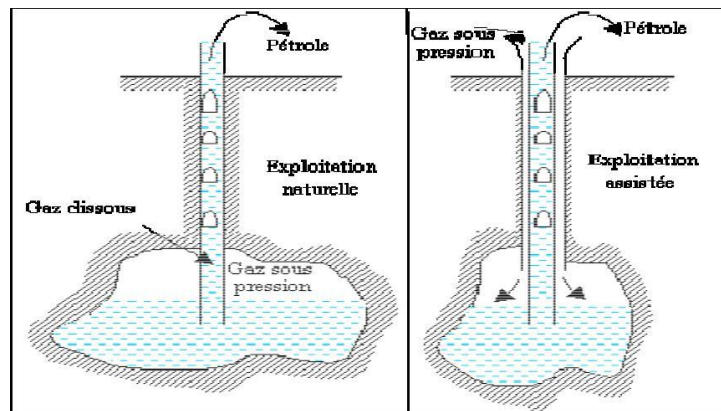


Fig. I-17: Exploitation des gisements de pétrole. [2]

2.4. Domaine hydraulique

2.4.1. Barrage

Les phénomènes d'envasement des barrages ou le tauxde 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

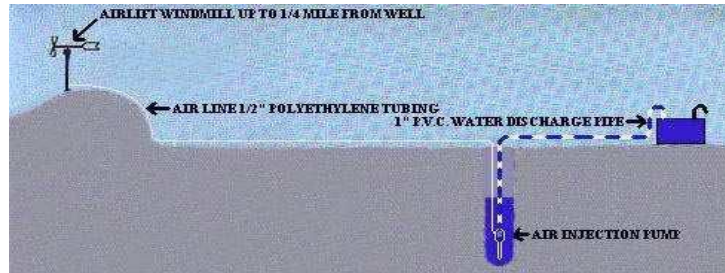


Fig. I-18: Production d'un puits d'eau

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.

Chapitre 7

Description de Système de levage

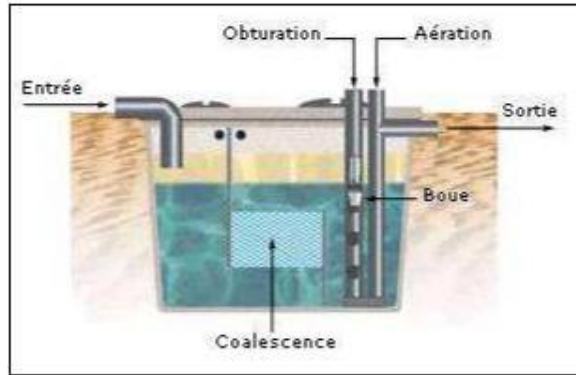


Fig. IV-19: Dessableur

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 10à 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).

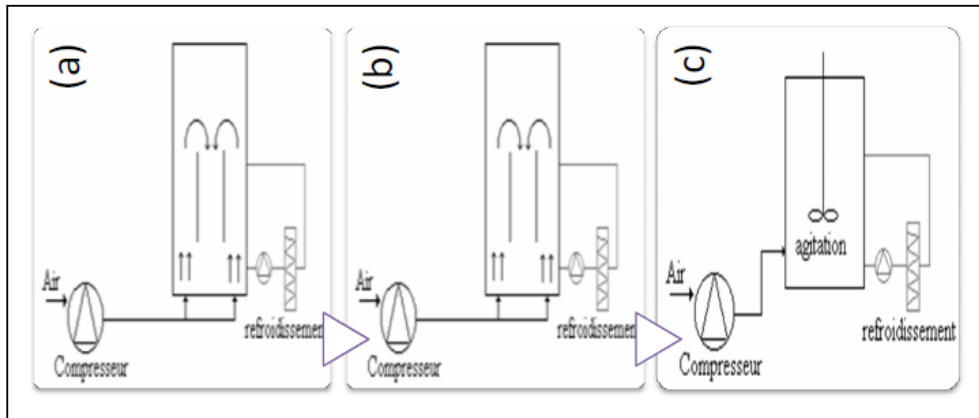


Fig. I-20: Différentes agitations

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

Le 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.

Chapitre 3

Description de Système de levage

La force motrice de l'écoulement est due à la différence de densité entre le fer 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 fer 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.

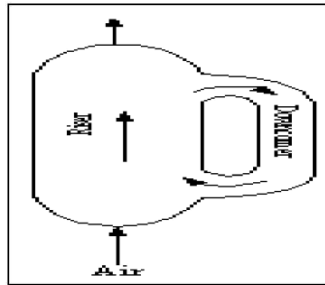


Fig. I-21 : Air lift à boucle externe

- Air lift à boucle interne :

Il en existe plusieurs :

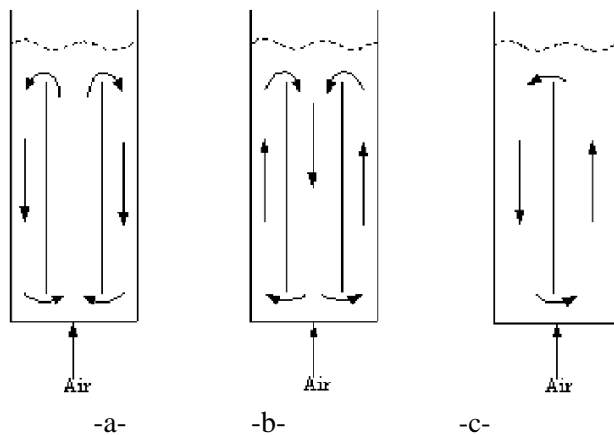


Fig. I-22: Air lift à boucle interne

Chapitre 3

Description de Système de levage

- 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.

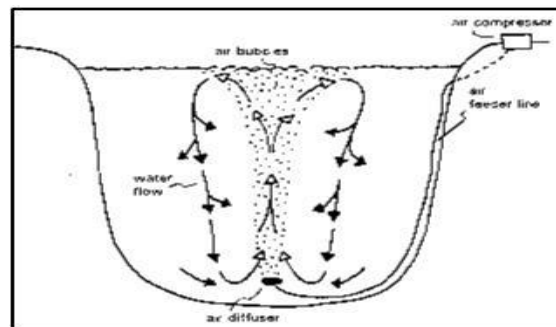


Fig. I-23 : Système de recirculation d'un lac

2.7.2. Système d'aquaculture :

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

Chapitre 7

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 efficace 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 l'arrosage à travers ces filtres ;

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

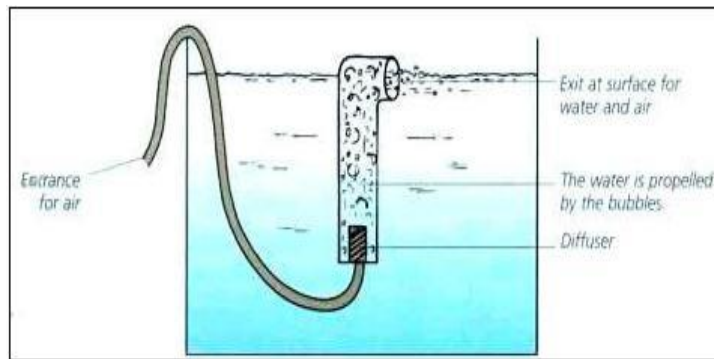


Fig. I-24: Aquarium par technique air lift

- 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. promenade hydraulique est combinée quelquefois avec les promenades électrique ou mécanique. Les canaux de l'écoulement ouverts sont proposés d'être construits 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 bonnes, 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 poisson, mais les deux groupes majeurs sont des appareils mécaniques et hydrauliques.

Chapitre 3

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 1882, 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

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]

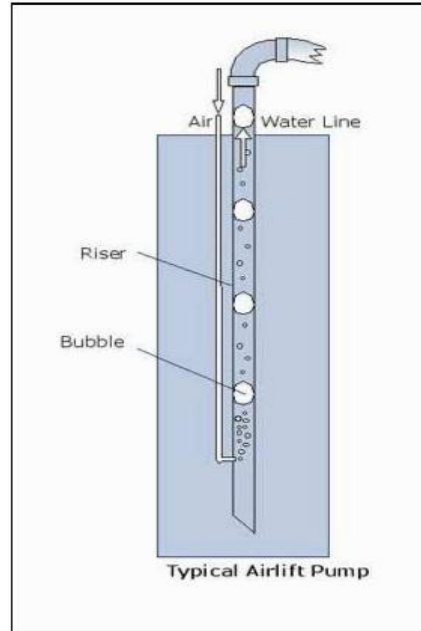


Fig. I-26: Système de pompage par air lift. [26]

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 de puits tordus et puits avec le sable et d'autres impuretés ;
- 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, adoucissements 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 3

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;

-Suction 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 existants. 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

Écoulements diphasiques

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 donnés 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 la 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 a 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 présente 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

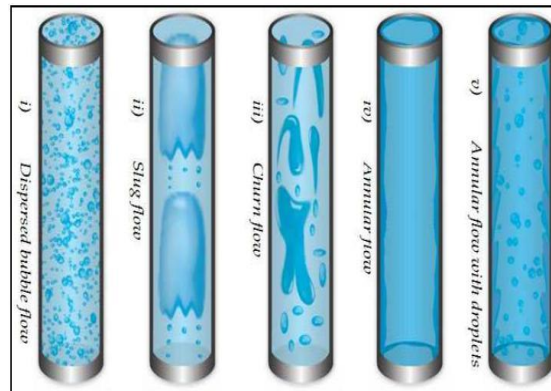


Fig. II-1 : Régime d'écoulement diphasique vertical

Écoulements diphasiques



Figure 7.2. Bubble flow

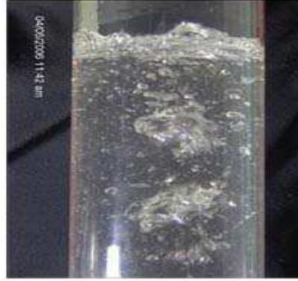


Figure 7.4. Slug flow



Figure 7.3. Churn flow



Figure 7.1. Annular flow

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

b. Conduite horizontale

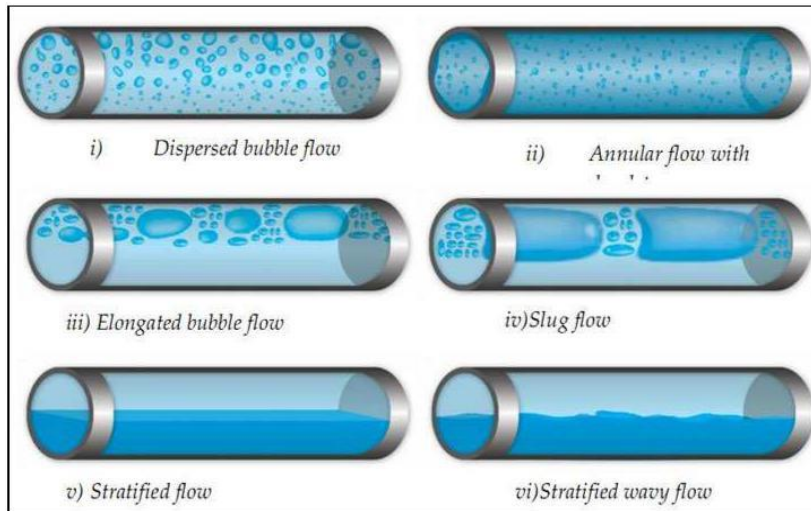


Fig. II-3: Régime d'écoulement diphasique en conduite horizontale

Écoulements diphasiques

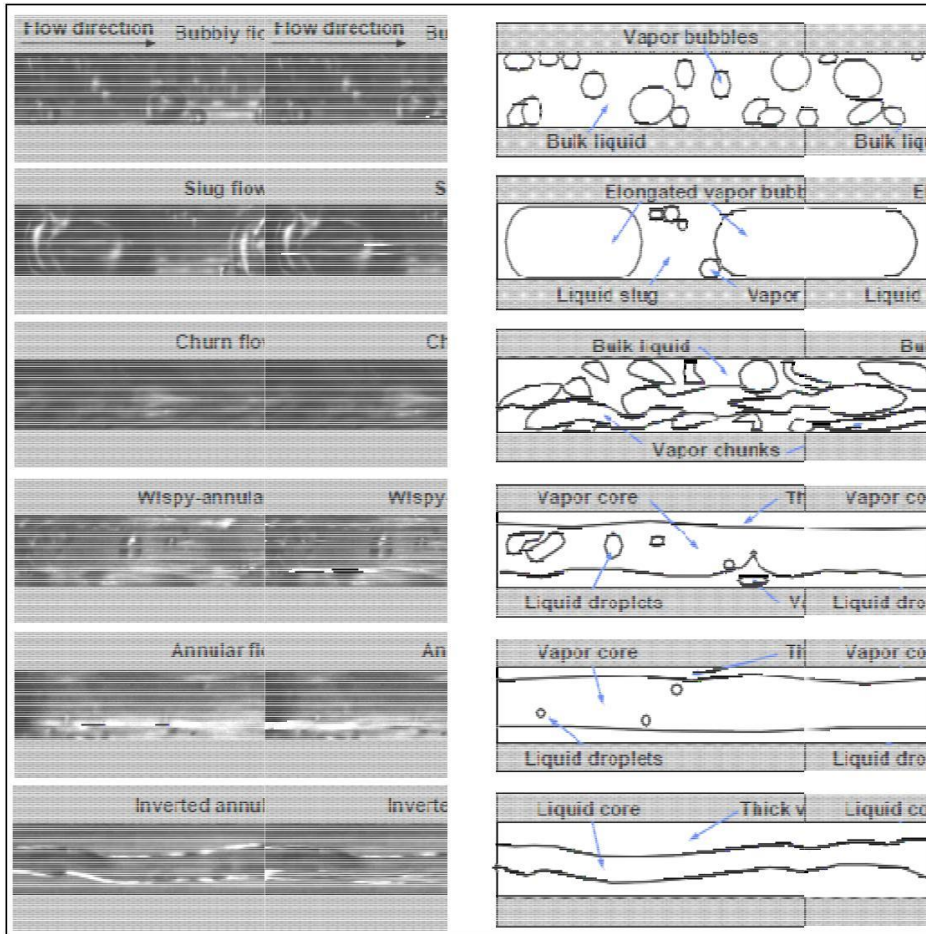


Fig. II-4 : Différents régimes d'écoulement diphasique .

c. Conduite inclinée :

Quand l'écoulement diphasique a lieu en conduite inclinée, son comportement change considérablement, et le volume occupé par le liquide « liquide 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 ce lui 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

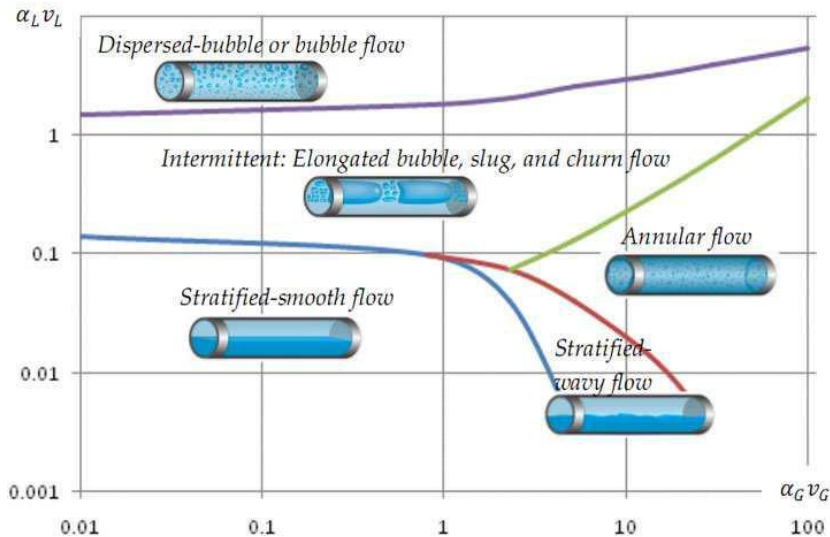


Fig. II-6 : Carte d'écoulement diphasique .

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.

Écoulements diphasiques

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 où le film de la phase continue présent entre les deux se brisent et la coalescence se produit.

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

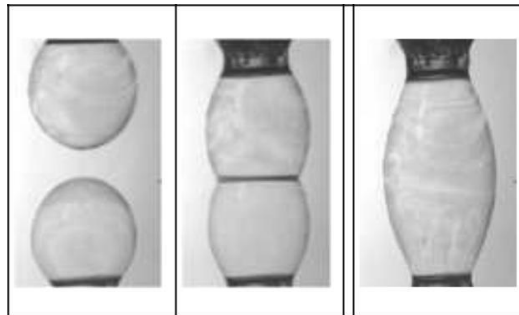


Fig. II-7: Phénomène de coalescence

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.

Écoulements diphasiques

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.

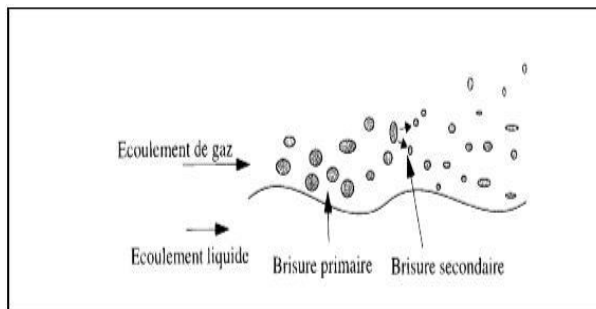


Fig. II-8: Esquisse bidimensionnelle de l'atomisation d'un écoulement liquide

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.

Écoulements diphasiques

2.4. Flooding :

Le phénomène « Flooding » limite la stabilité du lmfi 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 .

D'autres paramètres pertinents tels que les débits volumiques Q_1 et Q_g ,le titre massique χ et le taux de vide interviennent \propto 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 :

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (II 1)$$

$$M = m_1 + m_2 = \rho_1 * Q_1 + \rho_2 * Q_g \quad (II 2)$$

Écoulements diphasiques

$$m = \rho_m * Q \quad (II\ 3)$$

OU

- 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 :

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 phase la gazeuse. La valeur moyenne de α , appelée taux de vide α , est donc définie par:

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

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\int G_g * dA * dt}{\int G * dA * dt} \quad (II\ 5)$$

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

$$G = \frac{m}{A} \quad (II\ 6)$$

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

$$G_g = \frac{\chi * m}{A} \quad (II\ 7)$$

Écoulements diphasiques

$$G1 = \frac{(1-\chi) + m}{A} \quad (II\ 8)$$

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 :

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

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 :

$$G_l = \rho_l * u_l * (1 - \alpha) \quad (II 10)$$

$$G_g = \rho_g * u_g * \alpha \quad (II 11)$$

- Equation de conservation de quantité de mouvement :

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

$$\left(-\frac{dp}{dz}\right) = 4 \frac{\tau_p}{D} + G \frac{d}{dz} (\chi U_g + (1 - \chi) U_l) + (\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l) g \cos \theta \quad (II 12)$$

Equation d'énergie :

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

Avec:

$$X = \frac{m_g}{m_l + m_g} \quad (II 14)$$

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

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 telles que (vitesse), propriétés de transport (viscosité), et les propriétés thermodynamiques (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 uet coll., 2005) ont montré que le régime homogène est observé pour les faibles débits de gaz (< 5 cm/s) est caractérisé par une distribution détaillée 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]

$$U_l = U_g = U_m$$

$$T_l = T_g = T_m$$

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 :

$$U_l = \frac{Q_l}{A}$$

$$U_g = \frac{Q_g}{A}$$

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 et u 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_1) 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 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.

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

Ou en fonction du taux de vide :

$$\rho_m = (1-\alpha)\rho_l + \alpha\rho_g \quad (II 16)$$

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] :

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

[Ischii]

$$\mu_m = \chi\mu_g + (1-\chi)\mu_l \quad (II 18)$$

Flux massiques des deux phases, devient :

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

$$G_g = \chi * G = \rho * u * \alpha$$

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

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

Ou encore :

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

Écoulements diphasiques

On peut réécrire le taux de vide et on obtient :

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

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 :

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

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:

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

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

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

$$\frac{d}{dz}(\rho_m U_m^2) = \frac{d}{dz} \left(\frac{\dot{m}^2}{\rho_m}\right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\tau_P S_P}{A} - \rho_m g \cos \theta \quad \dot{m} = \frac{m}{A}$$

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

Avec :

Écoulements diphasiques

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

Donc :

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

f_{pm} : Coefficient de frottement pariétal

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

$$\text{Avec : } Re_m = \frac{\dot{m} D}{\mu_m} \quad ; \quad \mu_m = R_g \mu_g + (1 - R_g) \mu_l$$

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 .

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 pompe à 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) placée 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 : Pression de mise en marche au niveau du mélangeur;

Δh_a : Hauteur d'élévation.

Avec $\Delta h_a = RQ_1^2$.

R : Résistance de la conduite de refoulement.

Q_1 : Débit moyen du liquide qui sort de la conduite d'air.

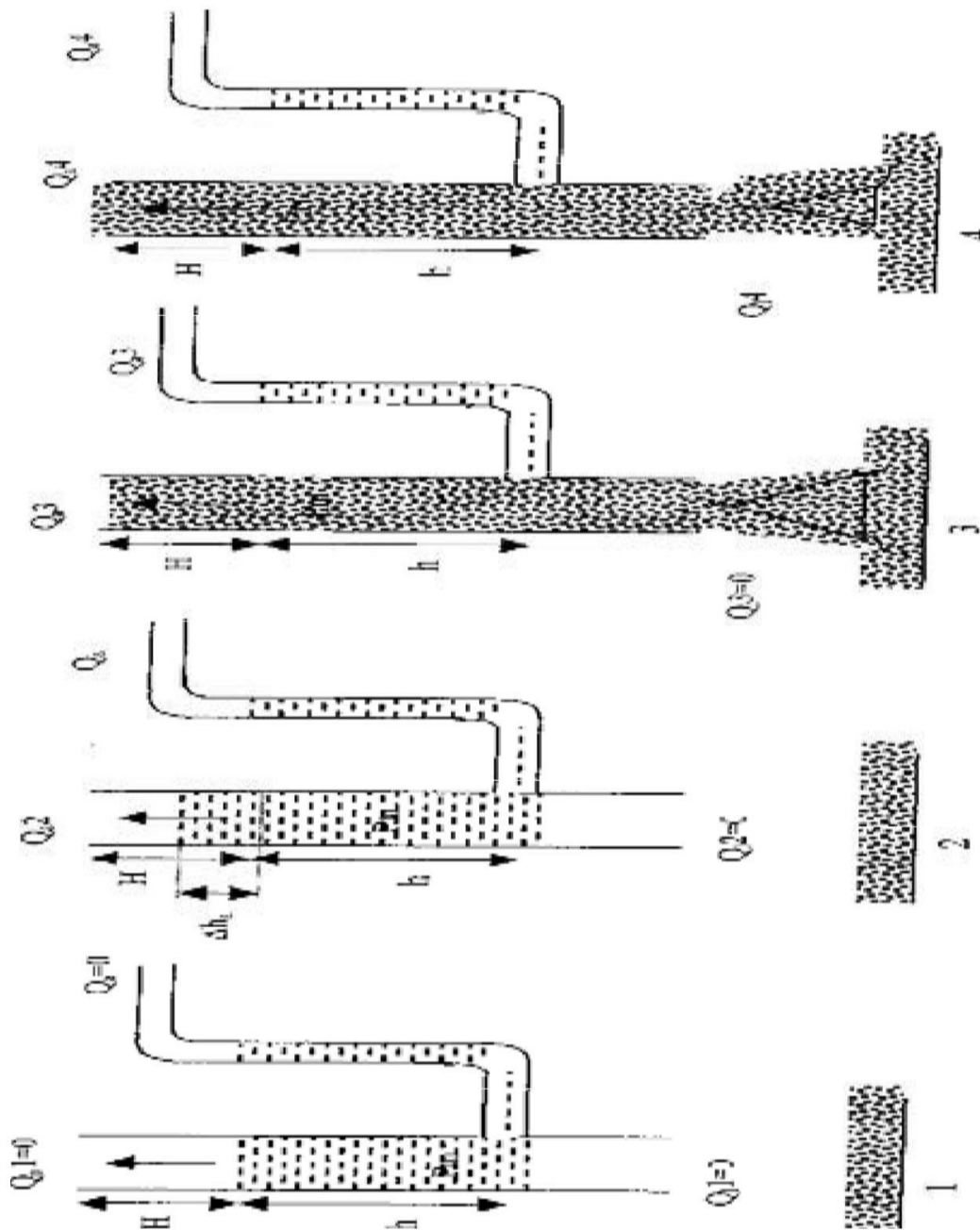


Fig. III-1: Principe de la technique air lift .

Chapitre III

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.

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

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

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

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 :

$$P = P = \rho g (h + \Delta h_a)$$

3ème 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.

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

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

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

$H+h$: Hauteur de la conduite de refoulement.

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

4ème étape :

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

Chapitre III

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 :

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

On développant :

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

Finalement :

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

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 :

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

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

$$Q_a = Q_{a\ moy} \cdot \left(\frac{P_{atm} + P_{moy}}{P_{atm}}\right). \quad (III.7)$$

$Q_{a\ moy}$: Débit moyen d'air ;

P_{moy} : Pression moyenne.

D'où :

Chapitre III

Étude 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 :

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

En divisant celle-ci par Q_l il vient :

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

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) :

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

En analysant cette dernière expression, on remarque que ce second paramètre du numérateur $\left(\frac{\rho_a}{\rho} \cdot q \right)$ 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 :

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

Sachant que

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

Q_m : Débit du mélange.

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

Ou

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

D'autre part on a :

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

Remplaçons (III.8) dans (III.19) :

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

Finalement :

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

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

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

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

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

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

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

Ψ : coefficient de résistance hydraulique ;

D : diamètre de la conduite de refoulement.

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

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

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.

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

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

N_f : Puissance fournie par le compresseur.

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

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

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

Après transformation (III.30) devient :

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

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 :

$$P_{\text{air com}} = P_{\text{sorti}} - P_{\text{entré}} \quad (\text{III.32})$$

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

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

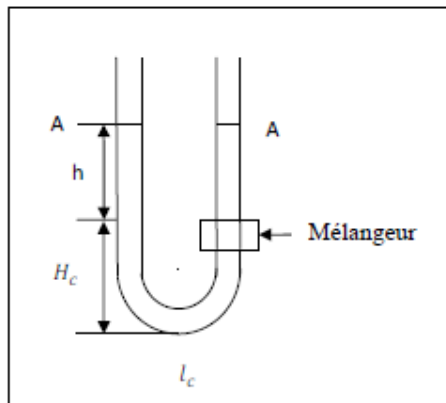


Fig. III-2: Paramètres introduits dans le calcul de résistance spécifique

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

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

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

Chapitre III

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 :

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

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.

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

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

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

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

$$n = \frac{q_{th}}{q}$$

Il reste à déterminer le débit spécifique (q) ce dernier dépend de α . Selon KOZEREASKI et à partir des résultats expérimentaux on obtient la fonction $q=f(\alpha)$ en divisant l'air lift en deux catégories :

Air-lift long :

$$h = [20 \dots\dots 120] \text{ m.} \quad \text{Avec } 0.15 < \alpha < 0.5.$$

Air-lift court:

$$h = [4 \dots\dots 20] \text{ m.} \quad \text{Avec } 0.15 < \alpha < 0.5.$$

e de 10 à 20 mètre

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

4.1. 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 mètre

Le débit du dispositif augment 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.

4.2. 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).

4.3. 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.

4.4. Niveau statique

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

4.5. 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 l'égerment supérieur 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 :

$$L_{air} - L.S < \frac{P_{nominal}}{10}$$

* $P_{nominal}$: exprimé en bar

* L_{air} : en m .

4.6. 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.

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

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.

4.7. Débit d'air du compresseur

Comme la pression de service, ce paramètre n'est pas vraiment maitrisable 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.

4.8. 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.

4.9. 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.

4.10. 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.

4.11. Forme extérieur du tube d'eau

Aucune importance en général.

4.12. 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).

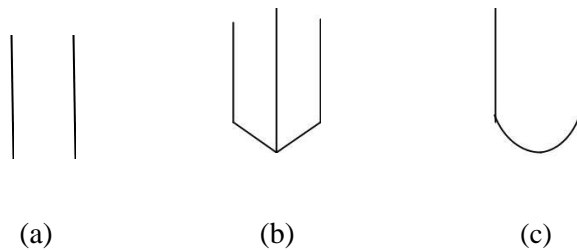


Fig. III-3 Formes des injecteurs d'air

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.

5. Conséquences générales

5.1. Choix du rapport d'immersion

Quel que 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.

5.2. 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.

5.3. 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.

5.4. 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.

5.5. 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 à signifie un accroissement exagère du poids du mélange et donc, une perte de rendement.

6. coté programmation

l'équation utilisée si (III.25)

les programmes

6.1. Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)

```
%Partie déclaration
clear all;
Qa0=0.00;%débit d'air de départ
dQa=0.0005;%le pas d'incrément de Qa
D=0.04;
alpha=0.5;
psi=0.04;
g=9.81;
n=50;
h=5;
c=g*h*1000;
Patm=10^5;
z=2.5*D^2*(1-alpha)*(1+c/2*Patm);
A=(alpha/psi)*g*D^5;
% B=alpha/psi;
% Qa=zeros(n);
% Ql=zeros(n);
% q=zeros(n);
%A=alpha/psi
%boucle sur Qa
for i=1:n
Qa(i)=Qa0+i*dQa;
b=(Qa(i))^2-A+(A/alpha);
C1=1;
C2=2*Qa(i);
C3=b;
C4=-A*Qa(i);
% p=[1 (2*Qa(i)) (Qa(i)*Qa(i)+B*A*A*(1/alpha-1)) (-B*A*A)];
p = [C1 C2 C3 C4];
%The roots of this polynomial are returned in a column vector by
r = roots(p);
x1=r(1);
x2=r(2);
x3=r(3);
r = max(r(imag(r))==0 ); % Save only the real roots
Ql(i)=r;
%q(i)=Qa(i)/Ql(i);
%pause
% C1*Ql(i)^3+C2*Ql(i)^2+C3*Ql(i)+C4
plot(Qa,Ql);%title('Ql=f(Qa)');%Graphe ....
%reply = input('Do you want more? Y/N [Y]: ', 's');
%plot(q,Ql);title('q=f(Ql)');
End
```

6.2. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes alpha

```
%Partie déclaration
%Partie déclaration
clear all;
Qa0=0.00;%débit d'air de départ
dQa=0.0005;%le pas d'incrément de Qa
D=0.04;
%alpha=0.8;
alpha0=0.1;
dalpha=0.1;
psi=0.04;
```

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

```
g=9.81;
n=80;
m=10;
c=g*(alpha0+j*dalpha)*10*1000;
Patm=10^5;
% B=alpha/psi;
% Qa=zeros(n);
% Ql=zeros(n);
% q=zeros(n);
%A=alpha/psi
%boucle sur Qa
for i=1:n
Qa(i)=Qa0+i*dQa;
for j=0.1:m
    alpha=alpha0+j*dalpha
    z=2.5*D^2*(1-alpha)*(1+c/(2*Patm));
A=(alpha/psi)*g*D^5
%h=(alpha0+j*dalpha)*10
b=(Qa(i))^2-A+(A/alpha)
C1=1;
C2=2*Qa(i);
C3=b;
C4=-A*Qa(i);
% p=[1 (2*Qa(i)) (Qa(i)*Qa(i)+B*A*A*(1/alpha-1)) (-B*A*A)];
p = [C1 C2 C3 C4];
%The roots of this polynomial are returned in a column vector by
r = roots(p);
x1=r(1);
x2=r(2);
x3=r(3);
r = max(r(imag(r)==0)); % Save only the real roots
Ql(i)=r;
%q(i)=Qa(i)/Ql(i);
%pause
% C1*Ql(i)^3+C2*Ql(i)^2+C3*Ql(i)+C4
end
end
plot(Qa,Ql,'b');
hold all,plot(Qa,4*Ql,'r');
%title('Ql=f(Qa)');%Graphe ....
%reply = input('Do you want more? Y/N [Y]: ', 's');
%plot(q,Ql);title('q=f(Ql)');
```

6.3. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes diamètres

```
%Partie déclaration
%Partie déclaration
clear all;
Qa0=0.00;%débit d'air de départ
dQa=0.005;%le pas d'incrément de Qa
%D=0.04;
alpha=0.5;
dD=0.025;
D0=0.25;
psi=0.078;
g=9.81;
h=20;
n=800;
m=5;
c=g*h*1000;
Patm=10^5;
% B=alpha/psi;
```

```
% Qa=zeros(n);
```

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

```
% Q1=zeros(n);
%q=zeros(n);
%A=alpha/psi
%boucle sur Qa
for j=0:m
    D=D0+j*dD;
    z=2.5*D^2*(1-alpha)*(1+c/(2*Patm));
A=(alpha/psi)*g*D^5;
%h=(alpha0+j*dalpha)*10
for i=1:n
Qa(i)=Qa0+i*dQa;
b=(Qa(i))^2-A+(A/alpha);
C1=1;
C2=2*Qa(i);
C3=b;
C4=-A*Qa(i);
% p=[1 (2*Qa(i)) (Qa(i)*Qa(i)+B*A*A*(1/alpha-1)) (-B*A*A)];
p = [C1 C2 C3 C4];
%The roots of this polynomial are returned in a column vector by
r = roots(p);
x1=r(1);
x2=r(2);
x3=r(3);
r = max(r(imag(r)==0 )); % Save only the real roots
Q1(i)=r;
%q(i)=Qa(i)/Q1(i);
%pause
% C1*Q1(i)^3+C2*Q1(i)^2+C3*Q1(i)+C4
end
%plot(Qa,Q1)
hold on ,plot(Qa,1000.*Q1);
%title('Q1=f(Qa)');%Graphe ....
%reply = input('Do you want more? Y/N [Y]: ', 's');
%plot(q,Qa);title('q=f(Qa)');
trapz(Qa,Q1)
end
hold off
```

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

les graphes :

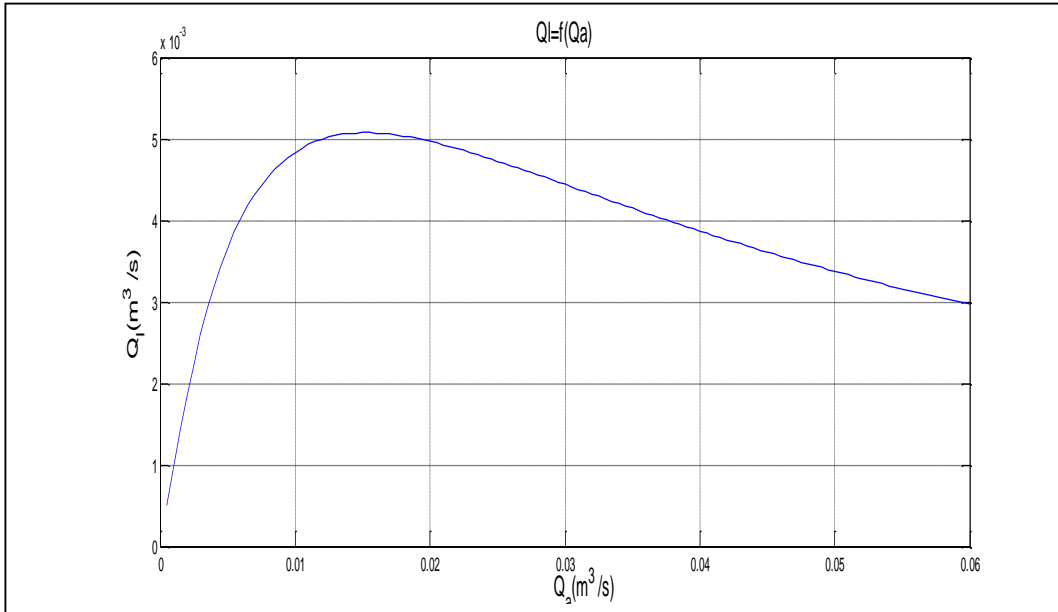


Fig. III-4: Variation de débit liquide en fonction de débit d'air ($\Psi=0.078$)

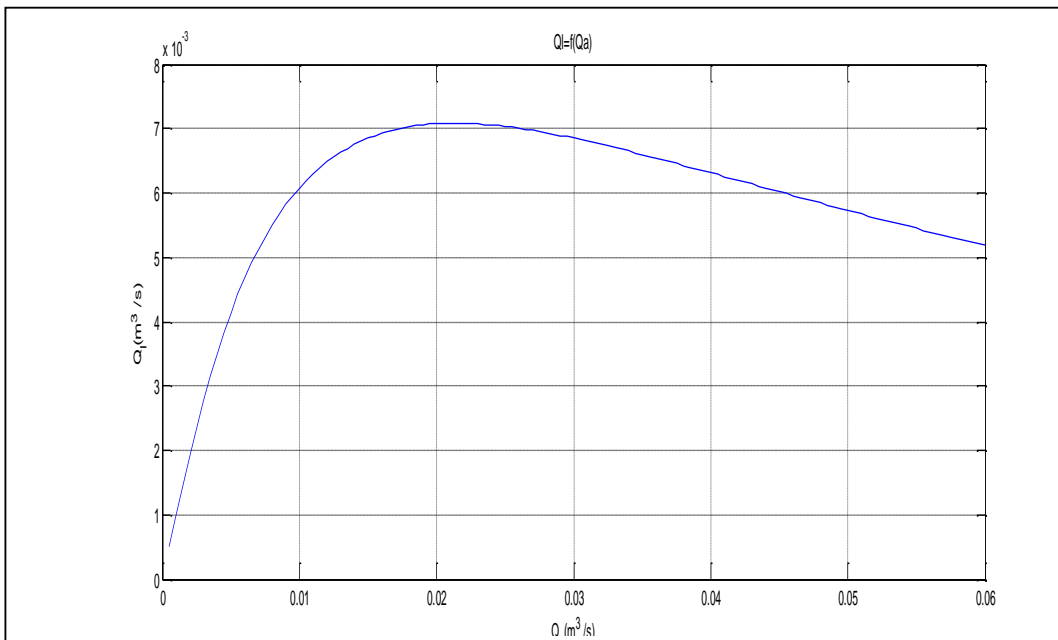


Fig. III-5 : Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)

Chapitre III

Etude analytique de l'air lift

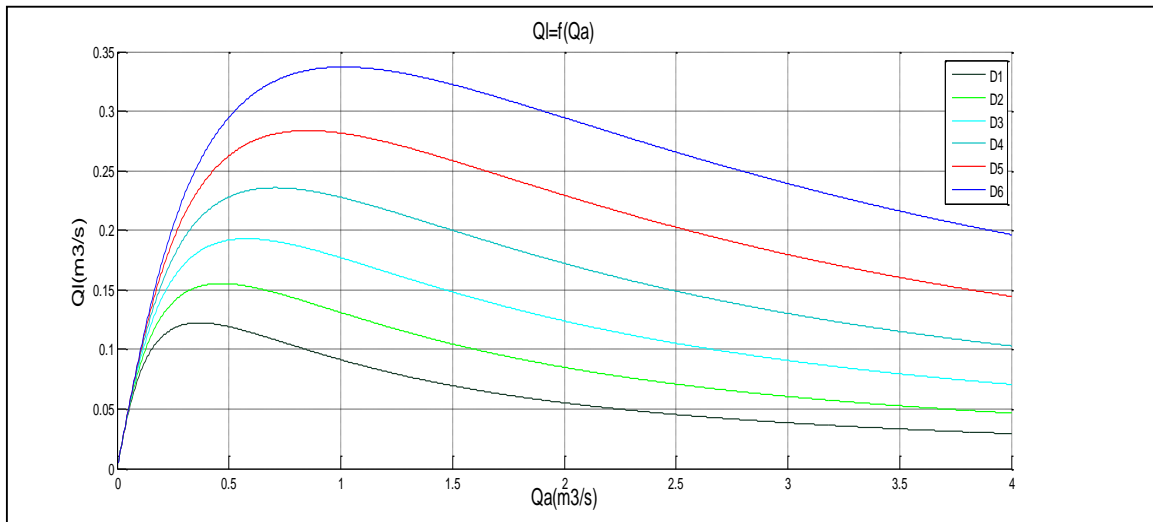


Fig. III-6: Débit liquide en fonction de débit d'air pour différents diamètres (court).

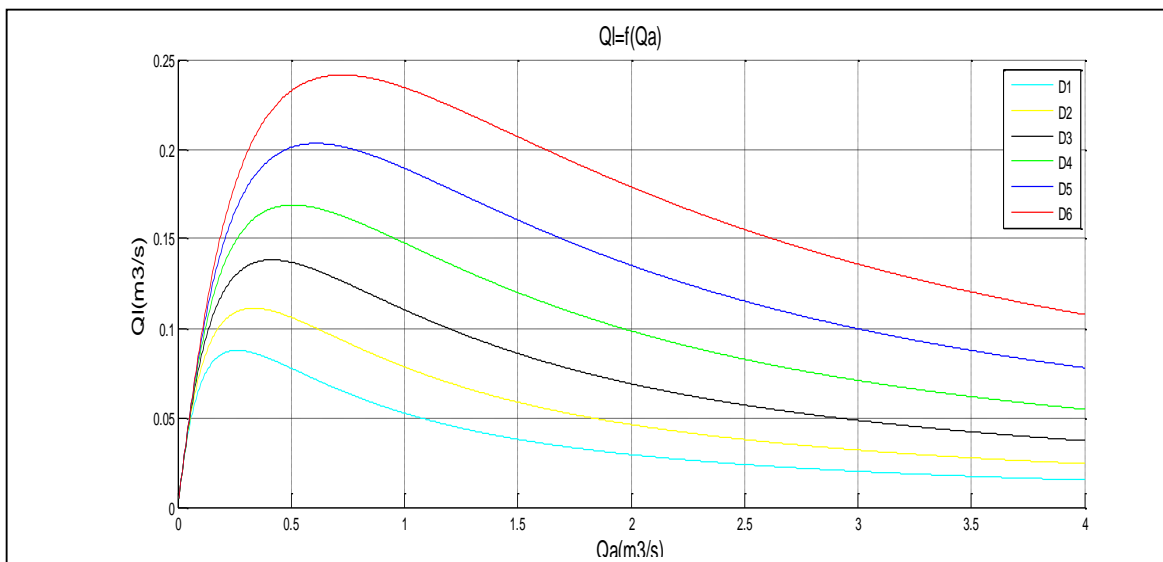


Fig. III-7: Débit liquide en fonction de débit d'air pour différents diamètres (long).

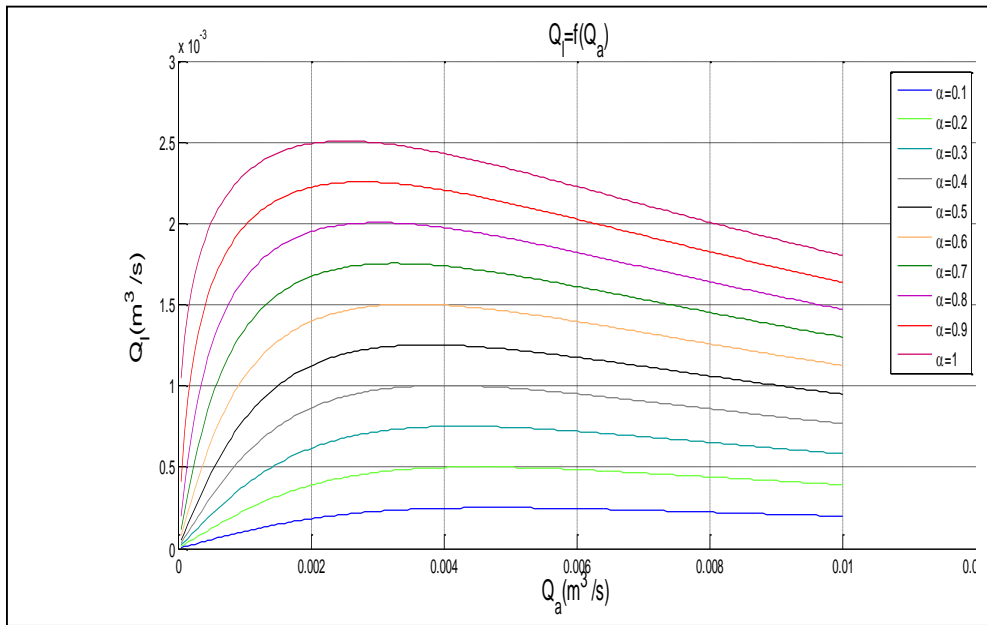


Fig. III-8: Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs d'alpha (court).

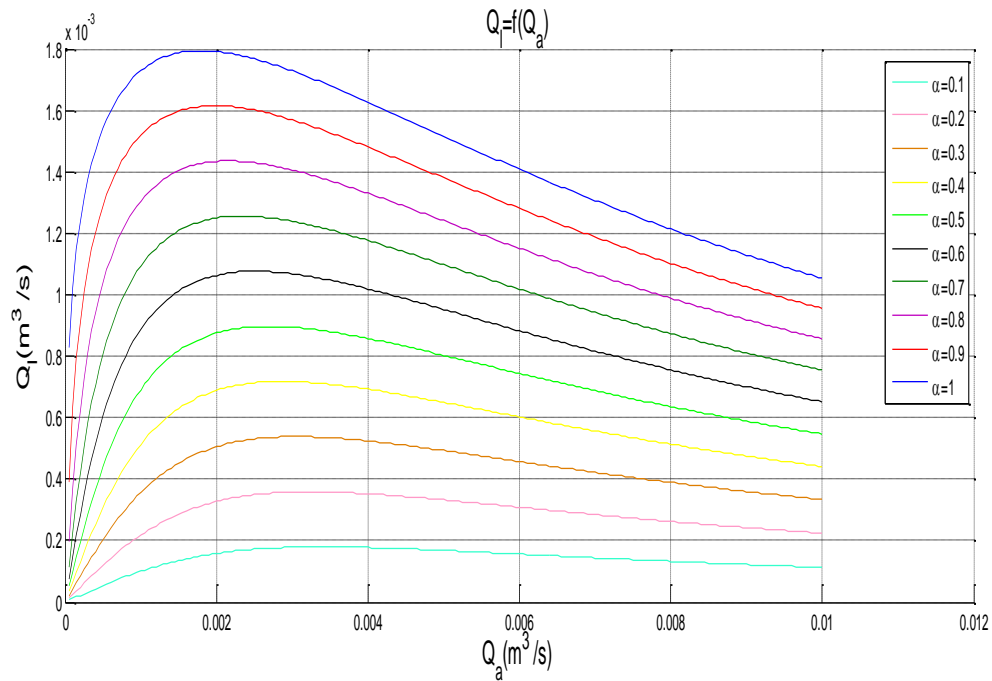


Fig. III-9: Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs d'alpha (long).

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 de l'air lift est présenté.

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

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

Etude expérimentale

Partie 01 :

1. But de l'expérience

Cet installation correspond à la production d'un pu its 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 ;
Limnimétrie.

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.

Etude expérimentale

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.

Etude expérimentale

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.

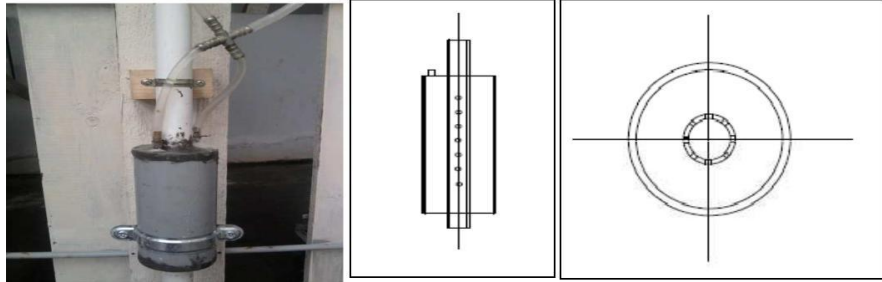


Fig. IV- 3: Schéma réel et dessin technique de mélangeur

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 différentes positions d'immersion géométrique h .



Fig. IV-4 : Réservoir d'alimentation

Etude expérimentale

3.8. Limnimétrie

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

3.9. 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 voire 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.

Etude expérimentale

Cette conduite (5) débouche à sa partie supérieure dans un réservoir dit séparateur (6) pouvant recueillir les débits liquides refoulés puis dirigés vers le déversoir triangulaire (10) qui mesure les hauteurs d'eau correspondant au débit liquides.

Les différentes dimensions du séparateur (6) (diamètre = 30 cm, hauteur = 27 cm) ont été choisies de manière et à réduire et à supporter la charge dynamique due aux vitesses élevées du mélange sortant de la conduite (5) sous forme de jets.

La partie inférieure comprend un mélangeur (4) où est placé l'injecteur qui permet l'entrée d'air dans la branche (B).

Une prise de pression est placée sur l'injecteur afin d'évaluer les variations de pression dans le mélangeur, la conduite à l'intérieur du mélangeur est perforée de trous qui permettent au mélange air eau de monter le long de la conduite (5).

Un tuyau (11) parallèle à la conduite de refoulement relie l'injecteur au compresseur cette disposition.

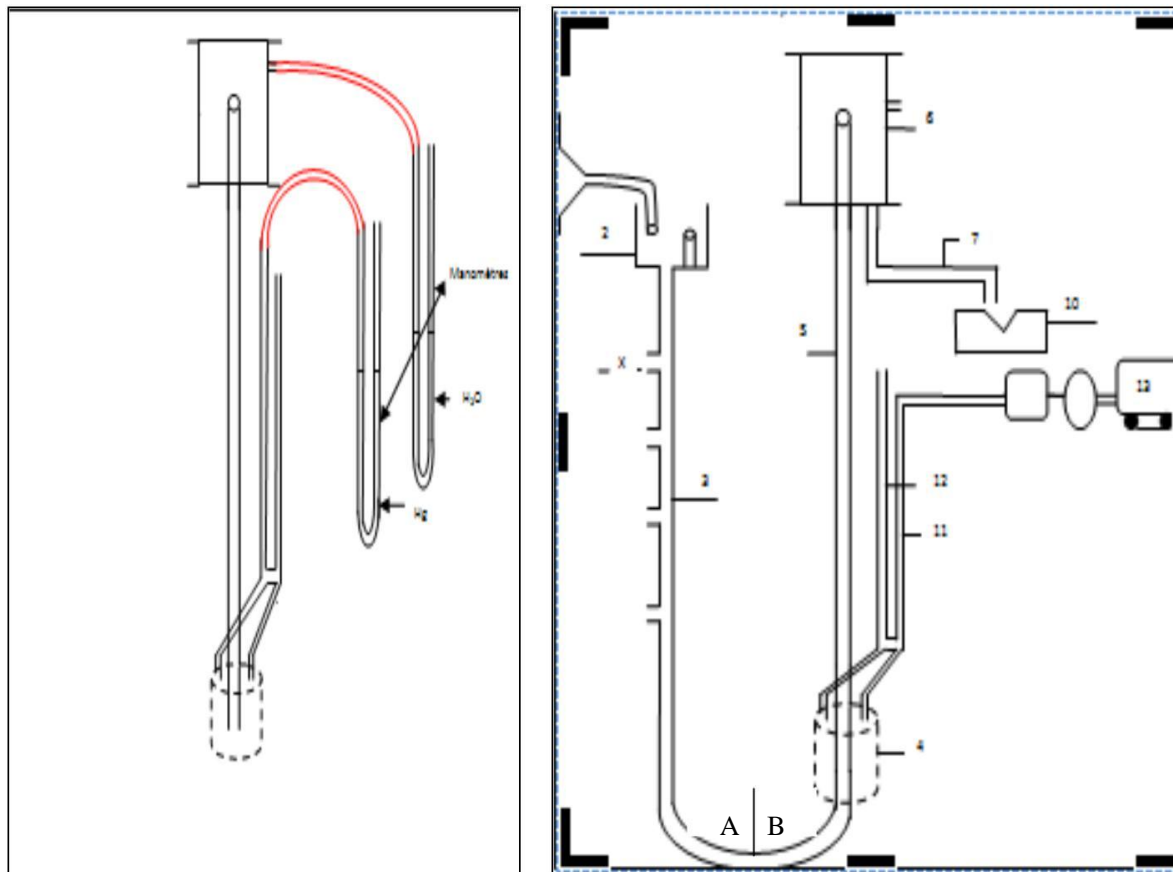


Fig. IV- 7: Description schématique de l'installation

Etude expérimentale



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 a partir de l'eau de ville au niveau de laboratoire il se déverse dans le réservoir (1), s'écoule dans la conduite (3) a 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 reconnait par là

Etude expérimentale

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)

: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.

Etude expérimentale

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. $m = \frac{\text{sections contractée}}{\text{sections de la conduite}} = \frac{24}{40} = 0.5$

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 résistance au mouvement.

Les prises de pression sont placées aux distances suivantes :

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

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

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

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

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

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

Etude expérimentale

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. $Q_a \propto \sqrt{\Delta h}$, $Q_a = \alpha' \sqrt{\Delta h}$

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

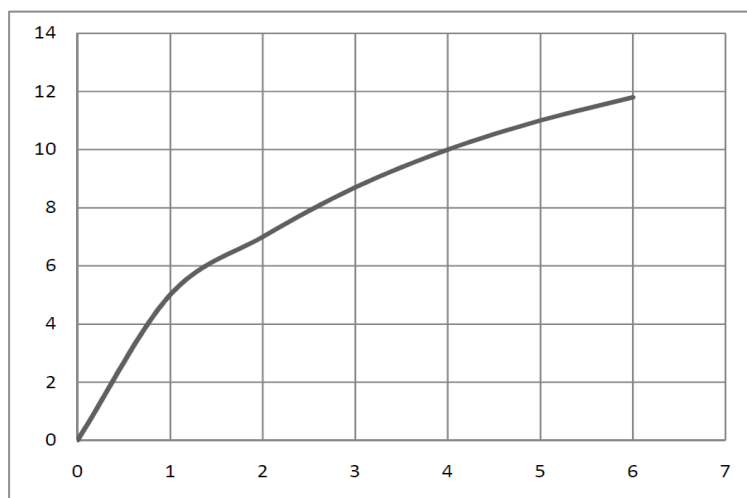


Fig. IV-11: Courbe d'étalonnage du manomètre à eau incliné $\text{Log}(Q) = \text{Log}(h)$.

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 $Q_a = \alpha \Delta h_1^b$

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

$$\log(Q_a) = f(\log(\Delta h_1))$$

Etude expérimentale

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-12: 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 (m³/s);
- ✓ μ : Le coefficient de débit $f(a, h/p, p/B)$;
- ✓ g : L'accélération de la pesanteur (9,81 m/s²);
- ✓ 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).

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	0.58

Chapitre IV

Etude expérimentale

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	$70 < Q_{\max} < 1$ 40	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:

$$\text{échancrure type } 90^\circ ; Q = \mu_{\frac{8}{15}} \sqrt{2g} h_e^{5/2}$$

$$\text{échancrure type } 1/2 ; Q = \mu_{\frac{4}{15}} \sqrt{2g} h_e^{5/2}$$

$$\text{échancrure type } 1/4 ; Q = \mu_{\frac{2}{15}} \sqrt{2g} h_e^{5/2}$$

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 $\mu = \mu$ (minimum) $\approx 0,577$ pour $\theta = 70^\circ$.

Etude expérimentale

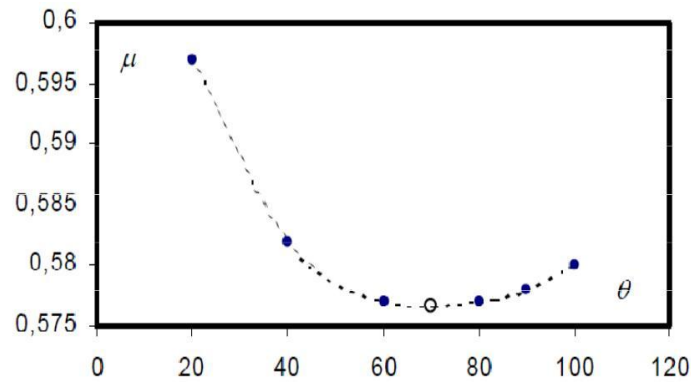


Fig. IV- 13: L'angle F en fonction de coefficient μ

Donc on a

$$0.577 < \mu < 0.59$$

dimension de déversoir :

- $\theta = 35^\circ$.

- $H = 20$ cm

- $b = 12$ cm.

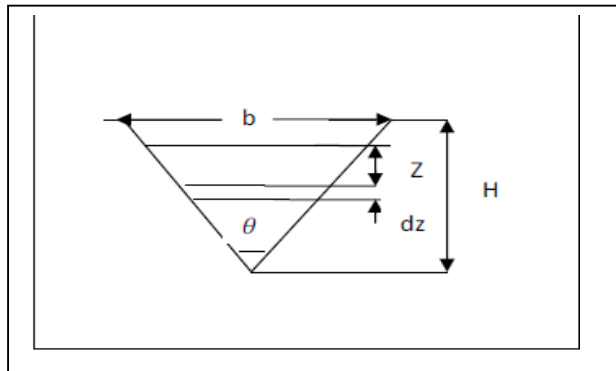


Fig. IV-14: Dimension de déversoir triangulaire

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.

Etude expérimentale



Fig. IV- 15: 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'étalonnage $\log(Q) = f(\log(h'))$

Etude expérimentale

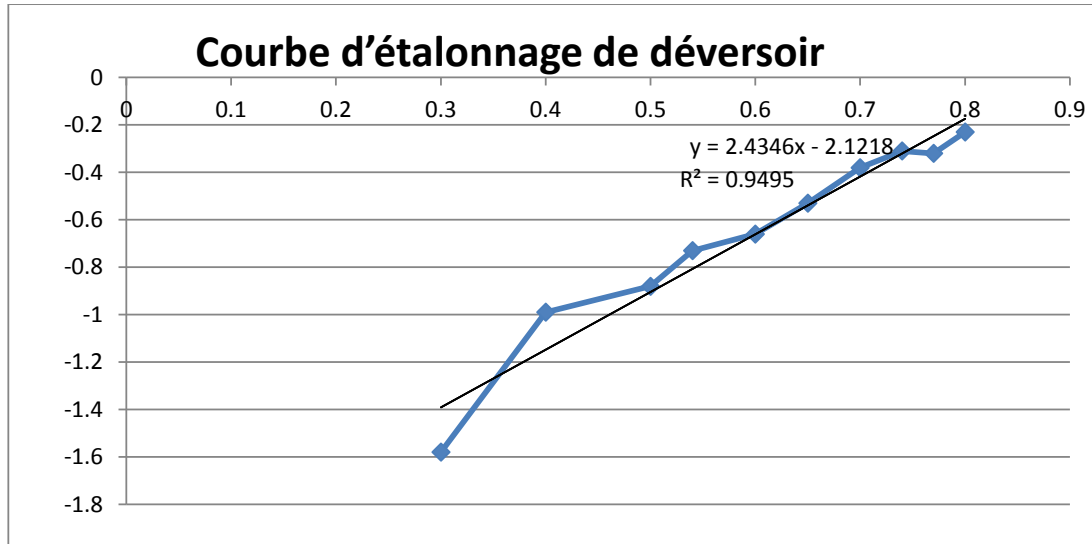


Fig. IV-16: Courbe d'étalonnage de déversoir.

$$\log(Ql) = b' \log(h') + \log(a') \rightarrow \log(Ql) = 2.37 \log(h') - 2.08$$

$$Ql = 8.317 \cdot 10^{-03} h'^{2.4}$$

Le coefficient de corrélation : $r = 0.94$

$$a' = \mu \frac{8}{15} t g \frac{a}{2} \sqrt{2g} \rightarrow \mu = \frac{a'}{\frac{8}{15} t g \frac{a}{2} \sqrt{2g}}$$

Tableau. IV-4 : Mesure de μ

$h'(m) \cdot 10^{-2}$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
$Ql(m^3/s) \cdot 10^{-3}$	0.03	0.1	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 Ql recueilli est mesuré par la formule : $Ql = V/t$

- ✓ V : Volume du bac ;
- ✓ t : le temps de remplissage du bac.

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

Etude expérimentale

$\Delta v = 30 \text{ cm} \rightarrow \Delta v = 0.03$: 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 $\dot{m} = [\text{g/s}]$

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

Avec $Q_a (\text{g/s})$

$\Delta(\Delta h_1) \approx 2$: 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)	$\Delta t / t$	$\Delta v / v$	$\Delta Q_1 / Q_1$	$\Delta h / h$
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

7. 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.

Etude expérimentale

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 ($p + \Delta p$) 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.

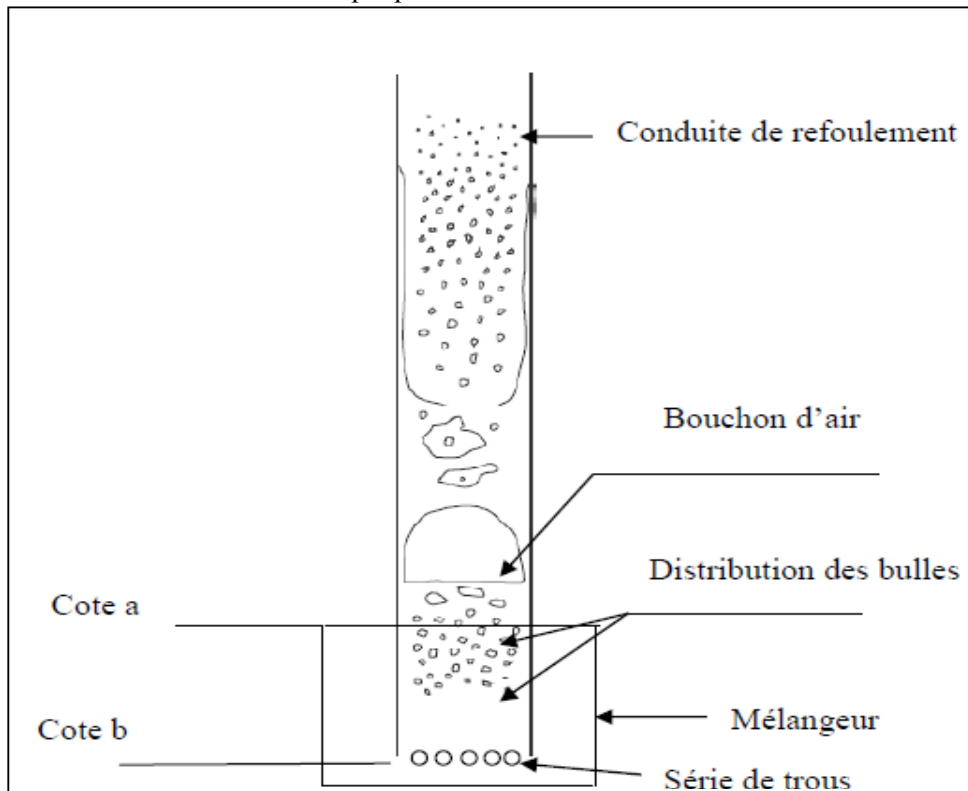


Fig. IV-17: Schéma

Etude expérimentale

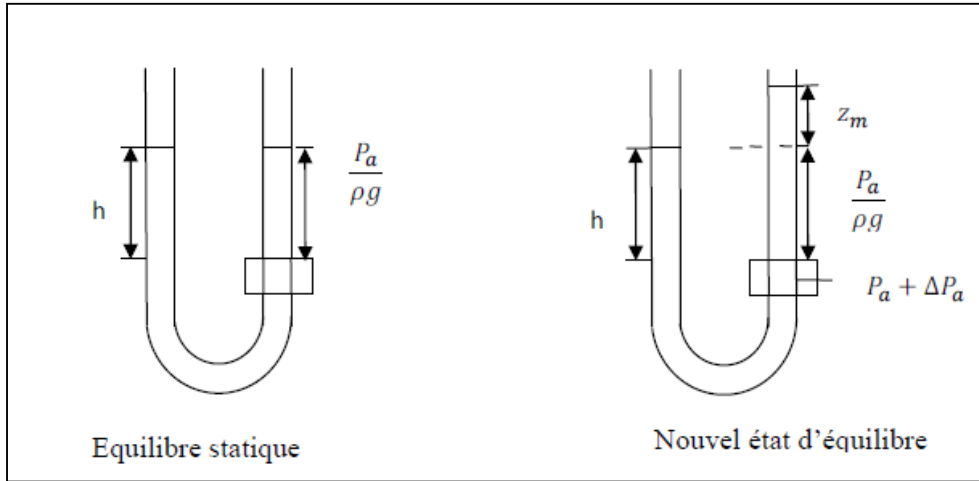


Fig. IV-18: Schéma

Partie 02 :

8. 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.

-pour $\alpha = 0.21$

Tableau . IV -6 : débit d'air, débit liquide pour alpha=0.21

p_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g/s)	Δh_{me1} (cm)	Δh_{sep} (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (ls)	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	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	45	3.2	3.9
2.5	5.2	1.56	17	2	13.2	4.1	63	2.3	2.8

Etude expérimentale

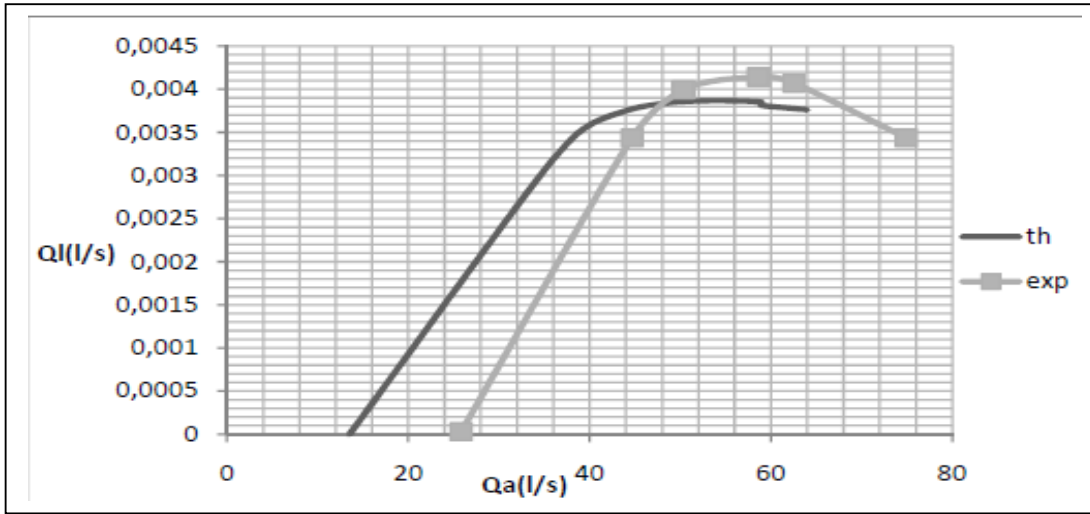


Fig. IV.19: débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,21$

-pour $\alpha = 0.5$

Tableau . IV -7 : débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,5$

p_c (bar)	Δh_1 (cm)	Q'_a (g/s)	Δh_{me1} (cm)	Δh_{sep} (cm)	Δh_l (cm)	Q_l (ls)	Q_a (l/s)	$p_{mél}$ (bar) 10^{-1}	ρ_a (kg/m^3) 10^{-1}
0.4	0.45	0.25	9	4	19.3	0.01	6.414	0.12	0.146
1	0.7	0.625	12	4.25	35.4	0.043	14.079	0.16	0.194
1.6	0.88	1	15	3.75	38.6	0.053	18.117	0.2	0.243
3.2	1.23	1.6	12	3.25	40	0.058	63.435	0.16	0.194
0.9	0.67	0.5	10.5	4.3	38.1	0.052	13.977	0.14	0.17
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	0.06	19.423	0.233	0.283

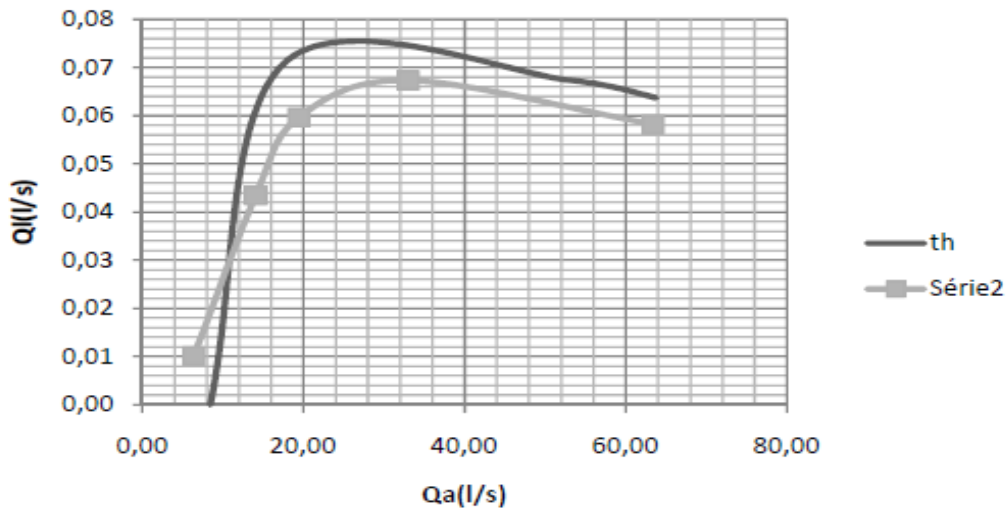


Fig. IV.20: débit d'air, débit liquide pour $\alpha=0,5$

Etude expérimentale

9. 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 caractéristiques principales q , α .

Variation du $Q_l=f(Q_a)$

Cette courbe nous permet de voir la variation du débit liquide en fonction du débit d'air. Pour des différentes 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 fait 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 $Q_l=f(Q_a)$.

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 *N*

Etude expérimentale

Remarque :

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 parmi 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 nous avons essayé de développer cette idée 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 »](http://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. BOUZEMMAL. « 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 Missouri1893.
- [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.june2009.
- [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'institutie 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 Belgrade faculty of mechanical engineering

Les sites

[34] [www.Encyclopédie scientifique.hmt](http://www.Encyclopédie_scientifique.hmt).

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

[36] Microsoft Encarta 2009.

[37] www.wikipédia.com

ملخص

نظرا لصعوبة استخراج بعض انواع الموائع من الابار اخترنا دراسة نظام الضخ بالهواء كمصدر للطاقة لدفع الخليط و من اجل تدعيم هذه النظرية قمنا بابراز اهميته في مختلف المجالات مثل الكيمياء و معالجة المياه و نظام النووية بعد ذلك قارنا هذه التقنية مع النتائج النظرية و ادخال المعارف المكتسبة في التطبيق العلمي. من اجل استنتاج المعايير المختلفة التي تميز هذا النظام. و من بين مختلف هذه المحاور قمنا باقتباس نماذج سيلان ثنائي الاحوال من اجل استوعاب نوع من الجريان في الانابيب.

الكلمات المفتاحية

مضخة الهواء المضغوط , سيلان ثنائي الاحوال , خليط ماء هواء , انبوب

Résumé

Devant la complexité d'exploitation de certain 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 différentes 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