

**Ministère de l'enseignement supérieure et de la recherche
scientifique**

Université Mohamed Boudief – M'sila



Faculté de technologie

Département d'hydraulique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme mastère académique

Filière : Hydraulique

Option : Ouvrage hydraulique

THEME

**Contribution à l'étude expérimentale et théorique d'un
système air-lift avec transport de la matière solide**

Dirigé par :

Mr. Mezali Farouk

Mr. Messahli Rabie

Présenté par :

- Deghfel Zakaria

- Ali Chikouche Djamel

Promotion : 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, tout louange à dieu qui m'a fourni le courage, la capacité et la patience pour réaliser ce modeste travail avec toutes ses difficultés et ses obstacles.

*Je voudrais remercier spécialement mon promoteur, Monsieur **Mezali Farouk**, Maître assistant à l'université de Msila, pour m'avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce projet et pour l'encadrement de ce travail et sa disponibilité ainsi que ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Je voudrais remercier aussi mon co-encadreur, Monsieur **Messahli Rabie**, Enseignant à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, pour l'encadrement de ce travail et leur propositions sur le sujet.*

*Je remercie Monsieur **Bouguerra Riyadh**, doctorant à l'école national des ingénieurs Sfax, Tunisie pour m'avoir aidé dans la finalisation ce travail*

Mon respect s'adresse aux membres de jury. Qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

- A mes parents pour les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard
- A mes frères.
- A toute ma famille
- A mes amis sans exception

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I Etude bibliographique de la pompe air-lift	
I.1 Etude bibliographique de la pompe air-lift	4
I.2 Systèmes de levage	5
I.2.1 Monte	5
I.2.2 Roue persane	6
I.2.3 Noria	6
I.2.4 Pompe à chapelet ou patenôtre	7
I.2.5 Saquiya	7
I.2.6 Saquiya ou tympan (à commande électrique)	7
I.2.7 Vis d'Archimède	8
I.2.8 Pompe volumétrique	8
I.2.8.1 Pompe à piston	8
I.2.9 Hydro pompe (pompe hydraulique à pédale)	9
I.2.10 Pompe à diaphragme	10
I.2.11 Pompe centrifuge	10
I.2.12 Dragage par godet	11
I.3.1 Domaine nucléaire	13
I.3.2 Industrie chimique	15
I.3.3. Industrie pétrolière	15
I.3.4 Domaine hydraulique	16
I.3.4.1. Barrage	16
I.3.4.2. Captage d'eau	16
I.3.4.3 Traitement des eaux usées	16
I.3.4.4 Domaine industriel	20
I.3.5 D'autre domaine d'application	20
I.3.5.1 Aération des lacs	20
I.3.5.2 Système d'aquaculture :	21
I.4 Pompage par air lift	22
I.4.1 Principe de fonctionnement	23
I.5 Conclusion	25
Chapitre II Approche théorique et exploration fonctionnelle	
II.2. Caractéristiques énergétiques de l'air lift	61
II.3. Coefficient spécifique de la conduite de l'air lift	61
II.4. Débit spécifique de l'air comprimé	62
Chapitre III Etude expérimental	
Chapitre III Etude expérimentale	64
III.1. But de l'expérience	64
III.2. Matériels	64
III.2.1. Eléments constructifs	64
III.2.2. Instruments de mesure	64
III.2.3. Produits utilisés	64
III.3.Représentation de matériel	65
III.3.1.Air comprimé	65
III.3.2. Compresseur	65
III.3.3. Séparateur	65

III.3.4. Mélangeur	66
III.3.5. Régulateur de débit	66
III.3.6. Injecteur	67
III.3.7. Réservoir d'alimentation	67
III.3.8. Limnimétrie	67
III.3.9. Manomètre	68
III.4. Présentation de l'installation	68
III.5. Manipulations et mesures	70
III.6. Etalonnage des instruments de mesures	71
III.6.1. Diaphragme	72
III.6.1.1. Etalonnage de diaphragme	73
III.6.2. Déversoir triangulaire	74
III.7 Explication physique de phénomène :	75
III.8 Conclusion	77
Chapitre IV Coté Programmation	
I.1. coté programmation	79
I.1.1. Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)	79
I.1.2. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes α	80
I.1.3. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes diamètres	82
I.3 Conclusion	96
Conclusion générale	97

Liste des figures

Figure I.1: Elévation du liquide par la motricité animale	6
Figure I.2: Roue persane	7
Figure I.3: Noria	7
Figure I.4 Saquiya	7
Figure I.5 Saquiya où tympan	7
Figure I.6 Pompe à vis d'Archimède	8
I.2.8.2 Pompe à piston plongeur	8
Figure I.7 Pompe à piston	9
Figure I.9 Pompe hydraulique à pédale	9
Figure I.8 Pompe à piston plongeur	9
Figure I.10 Pompe centrifuge	11
Figure I.11 Chaîne de godet	11
Figure I.12 Domaines d'utilisation de l'air lift	13
Figure I.13 Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau bouillante	14
Figure I.14 Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée (PWR)	14
Figure I.15 Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique	15
Figure I.16 Production d'un puits d'eau	16
Figure I.17 Des sableurs	17
Figure I.18 Différentes agitations	18
Figure I.19 Air lift à boucle externe	19
Figure I.20 Air lift à boucle interne	19
Figure I.22 Aération des poissons	22
Figure I.23 Système de pompage par air lift.	24
Figure II.1: Paramètres introduits dans le calcul de résistance spécifique	62
Figure III.1: Compresseur	65
Figure III.2: Séparateur	66
Figure III.3: Schéma réel et dessin technique de mélangeur	66
Figure III.4 : Réservoir d'alimentation	67
Figure III.5: Limnimétrie	68
Figure III.6: Manomètre	68
Figure III.7: Description schématique de l'installation	69
Figure III.8: Branche B de l'installation	70
Figure III.9: Diaphragme	72
Figure III.10: Prises de pression au niveau de diaphragme	73
Fig. IV-11: Courbe d'étalonnage du manomètre à eau incliné $\text{Log}(Q)=\text{Log}(h)$.	74
Figure III.12: Déversoir triangulaire	74
Figure III.17: Schéma	76
Figure III.18: Schéma	77
Figure III. 19 : Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs d'alpha	88

Introduction

Introduction général

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

Dé gazéifier 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 ayants 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 données.

CHAPITRE I
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE DE
LA POMPE AIR

Chapitre I

Etude bibliographique de la pompe air-lift

I.1 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA POMPE AIR-LIFT

Généralement, on pratique la solution de pompage par air lift dans des situations de baisse d'activité de puits ou pour améliorer la productivité de ces derniers. Vu les besoins sans cesse croissants dans tous les domaines économiques, il était nécessaire de recourir à des extensions larges dans les domaines d'exploitation et faire appel à des techniques beaucoup plus adaptées. L'air-lift est l'une des techniques qui répond parfaitement bien en tant que solution technique pouvant couvrir un large champ d'application.

Dans cette perspective de développement et de généralisation à des domaines divers et variés, eu égard à ses qualités techniques d'adaptation, celle-ci s'est imposée comme le substitut le plus favorable. Dès lors, il fallait chercher à la rendre beaucoup plus générale, par le fait à la mettre dans un cadre de modélisation basé sur les concepts de mécanique des fluides.

Cependant, il est à signaler que l'une des difficultés majeure rencontrée, réside dans le fait que les modèles théoriques supposés, validés sur un type d'installation donnée, risquent de ne pas être transposable vers d'autres conditions d'exploitation (Reinemann, 1990). Au stade actuel, les connaissances acquises sur les mélanges fluidisés restent toujours fragmentaires et ne se prêtent malheureusement pas à la généralisation. Par ailleurs, les installations réceptrices, dans leur conception de travail d'origine, restent toujours tributaires du manque dans leurs performances. L'avancement sûr ne peut s'accomplir qu'au prix de grands efforts aussi bien théoriques qu'expérimentaux.

Aussi, selon le degré de développement théorique des chercheurs, des paramètres régissant le fonctionnement du système air-lift apparaissent dans leurs études en nombre plus ou moins grand et variés.

L'enlèvement d'eau des cavités des mines souterraines était basé sur ce principe air-lift depuis fort longtemps [Schaw, 1920 (in Clark, 1986)]. Sa commodité et son adaptation aux conditions de pompage les plus variées répond à certaines exigences que la pompe ordinaire ne peut satisfaire.

On citera le pompage des mélanges de solides et liquides à partir des grandes profondeurs, atteignant parfois des milliers de mètres ou le pompage de pétrole des profondeurs sous-marines. En effet, depuis le succès du pompage effectué par la société américaine Deep Seaad ventures des nodules de manganèse d'une profondeur de 850 m en océan Atlantique [Giot, 1979], ce système de substitution est devenu très prometteur.

Cependant, les règles de dimensionnement de cet appareil ne sont pas établies d'une manière claire. La plupart des chercheurs dans l'élaboration des concepts de dimensionnement proposent des lois empiriques obtenues sur des expériences de laboratoires, souvent dans des conditions non conforme à la réalité des pompages en grandes profondeurs caractérisé par de grandes pressions.

L'analyse quantitative s'appuyant sur la résolution de l'équation d'énergie n'est pas explicite par la prise en compte du facteur global de rendement du système [Clark, 1986]. Ainsi, toute tentative de reproduction de l'installation suppose un rendement donné, alors qu'il ne peut être connu réellement qu'une fois l'appareil est réalisé.

Par ailleurs les études expérimentales et théoriques menées dans différents laboratoires sur l'écoulement diphasique engendré par l'injection d'air comprimé s'inscrivent en général dans le but de la compréhension des phénomènes physiques décrivant l'écoulement de deux composantes gaz-liquide.

Ces études, s'appuyant sur des lois d'interaction des deux phases dont les auteurs reconstituent l'écoulement par des modèles à partir des équations de conservation de masse et de quantité de mouvement que nous introduisons dans le chapitre suivant dans le cas du modèle homogène .

Il est donc très prématuré d'envisager le dimensionnement du pompage d'eau par la méthode d'air-lift. Néanmoins cette étude, par l'objectif que l'on s'est assigné consiste à trouver les dimensions optimales du système et d'apporter quelques éléments de compréhension sur le plan qualitatif et l'évaluation de ce procédé sur le plan quantitatif.

Ainsi, les conceptions formulées jusqu'à présent, se distinguent par les paramètres caractéristiques du fonctionnement de l'appareil et par le degré d'intégration des phénomènes physiques des écoulements diphasiques.

I.2 SYSTEMES DE LEVAGE

I.2.1 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 évide 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.

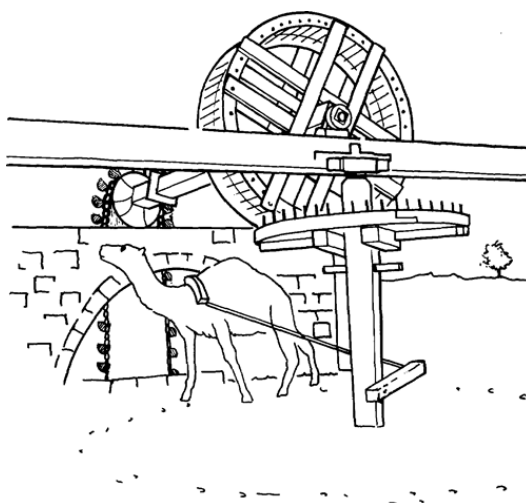


FIGURE I.1: ELEVATION DU LIQUIDE PAR LA MOTRICITE ANIMALE

Remarque :

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

I.2.2 ROUE PERSANE

Le premier dispositif élévateur fonctionnant en régime continu (Figure 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.

I.2.3 NORIA

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

Avantages :

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

Inconvénients:

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

-Perte d'énergie par frottement.

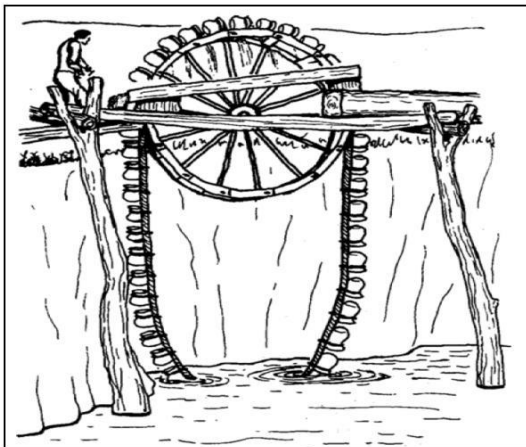


FIGURE I.2: ROUE PERSANE

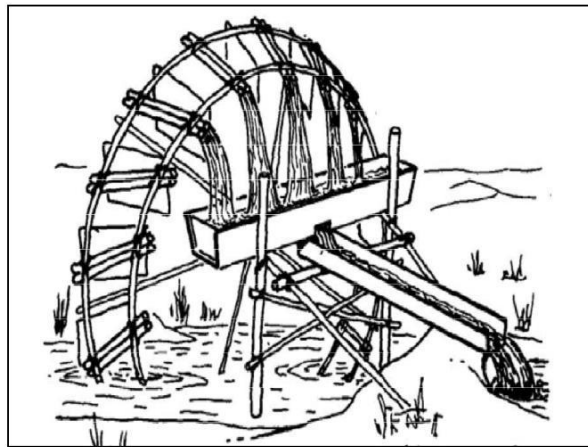


FIGURE I.3 NORIA

I.2.4 POMPE A CHAPELET OU PATENOTRE

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.

I.2.5 SAQUIYA

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

I.2.6 SAQUIYA OU TYMPAN (A COMMANDE ELECTRIQUE)

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

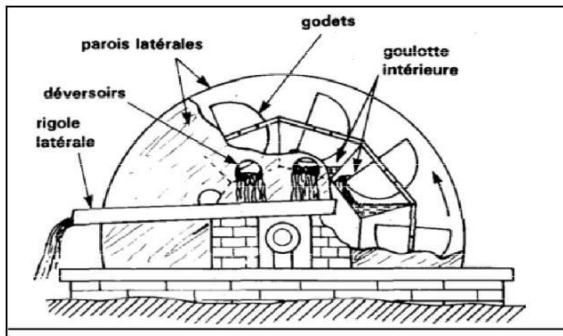


FIGURE I.4 SAQUIYA

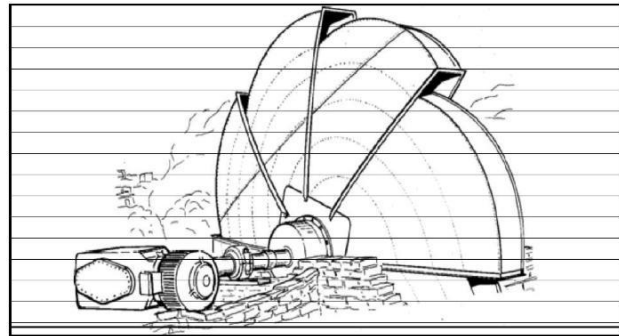


FIGURE I.5 SAQUIYA OU TYMPA

I.2.7 VIS D'ARCHIMEDE

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

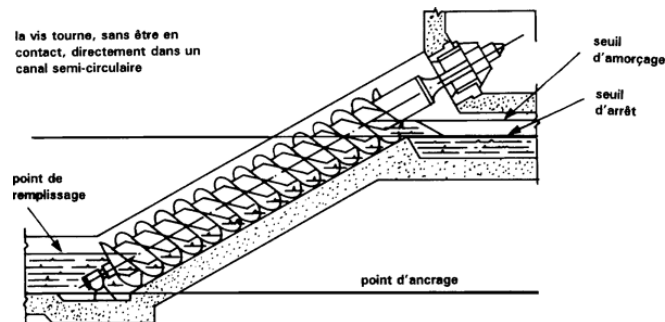


FIGURE I.6 POMPE A VIS D'ARCHIMEDE

I.2.8 POMPE VOLUMETRIQUE

I.2.8.1 POMPE A 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.

I.2.8.2 POMPE A 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 d u 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 pistonp.

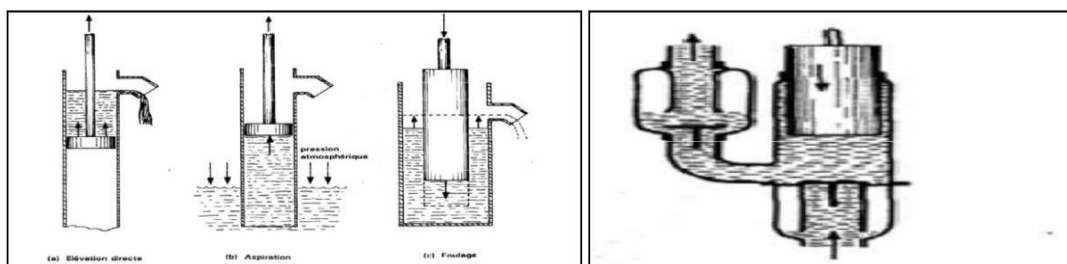


FIGURE I.7 POMPE A PISTON

FIGURE I.8 POMPE A PISTON
PLONGEUR

I.2.9 HYDRO POMPE (POMPE HYDRAULIQUE A PEDALE)

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 apport à une tige classique ;

-Leur rendement est généralement plus faible du fait des frottements supplémentaires provoqués par la mise en mouvement de l'eau nécessaire pour faire fonctionner la pompe.

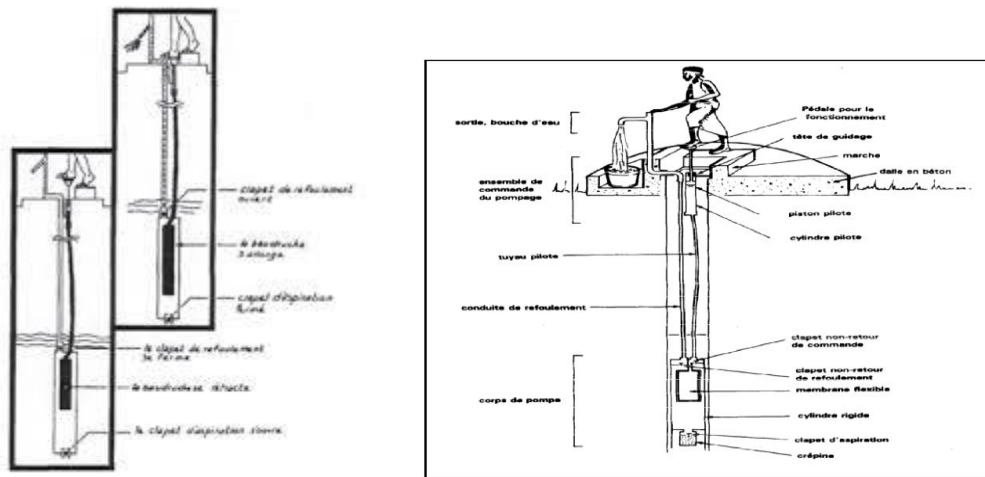


FIGURE I.9 POMPE HYDRAULIQUE A PEDALE

I.2.10 POMPE A 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.

I.2.11 POMPE CENTRIFUGE

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

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

L'élévation de l'eau est produite par l'énergie communiquée par une palette mobile bien profilée (aérodynamique). Par contre, pour des hauteurs d'eau importantes et des débits

faibles, le rotor doit être à écoulement centrifuge (écoulement radial). Il est généralement caractérisé par un rapport entre le diamètre à l'entrée et à la sortie, il doit être important pour que l'écoulement soit pratiquement radial entre ces deux cas extrêmes on trouve toute la gamme des pompes hélico-centrifuges.

Avantages :

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



FIGURE I.10 POMPE CENTRIFUGE

I.2.12 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.

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.

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 moulés dans 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.



FIGURE I.11 CHAÎNE DE GODET

Avantages :

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

Inconvénients :

- Les opérations de dragage posent un problème environnemental car elles favorisent la dispersion des particules fines et une mobilisation des contaminants et donc la bioaccumulation ;

- 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 la technique Air lift

I.3 Description du différent domaine d'air lift

L'air lift est un dispositif hydraulique qui se manifeste dans plus lieurs 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.

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

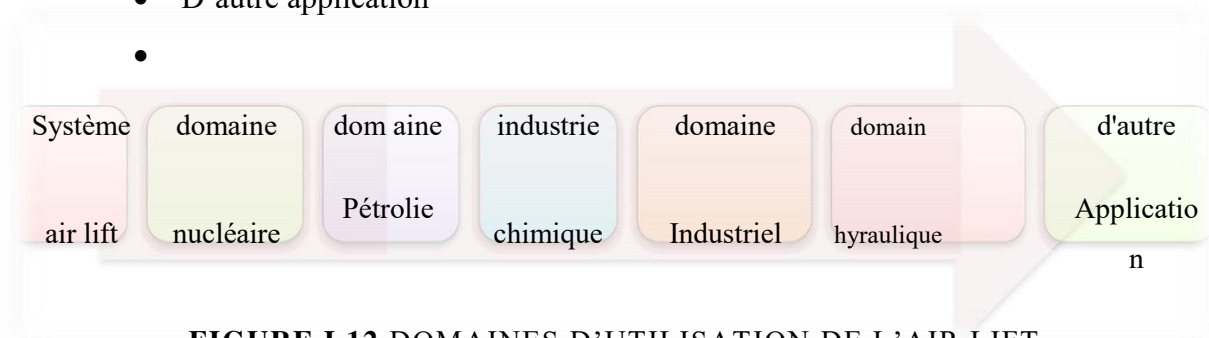


FIGURE I.12 DOMAINES D'UTILISATION DE L'AIR LIFT

I.3.1 DOMAINE NUCLEAIRE

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 cci dents 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

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 d 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 froidis à l' eau : les réacteurs bouillants et les réacteurs à eau sous pression (REP ou PWR).

a.1. Réacteurs à Eau Bouillante

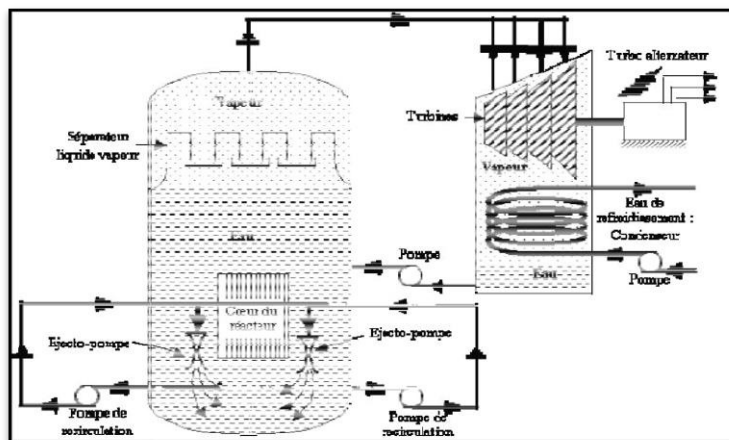


FIGURE I.13 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN REACTEUR NUCLEAIRE A EAU BOUILLANTE

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 aéro réfrigérante d'oùne petite partie (1,5 %) de l'eau s'échappe en va peur en forme de panache blanc. L'eau de refroidissement peut aussi être échangée directement avec un fleuve o la mer.

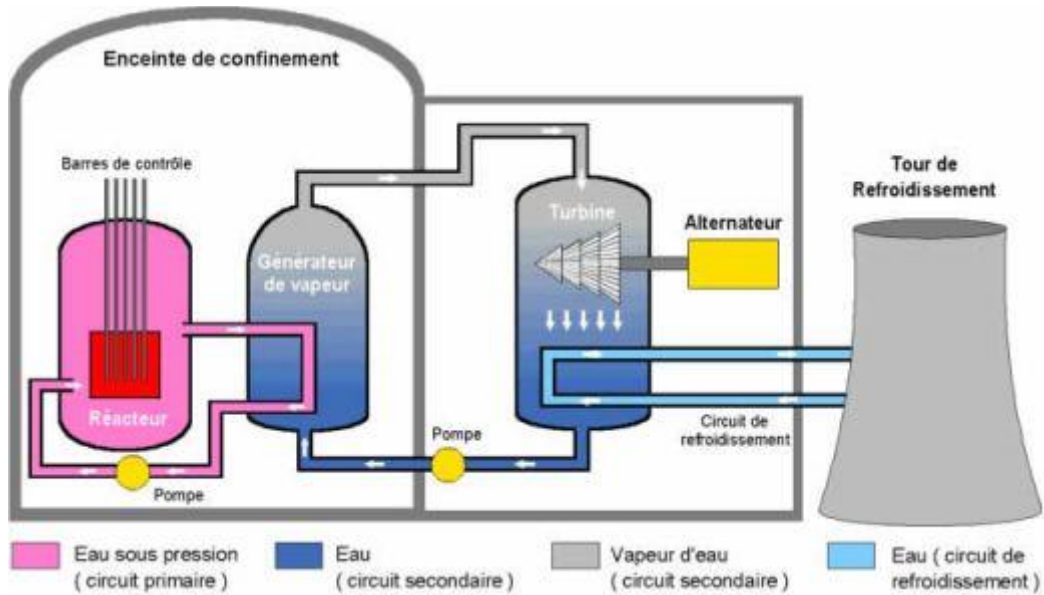


FIGURE I.14 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN REACTEUR NUCLEAIRE A EAU PRESSURISEE (PWR)

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.

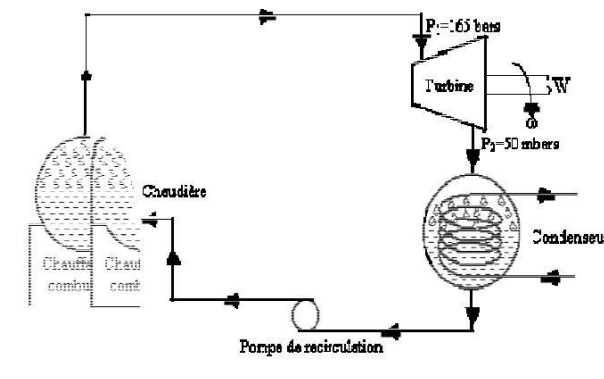


FIGURE I.15 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE THERMIQUE

I.3.2 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]

I.3.3. INDUSTRIE PETROLIERE

Ce système à été examiné pour la première fois lors de l'exploitation des gisements pétroliers, Son application vient après la phase primaire d'exploitation aux cours de laquelle la production est assurée par la déplétion 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 vie économe.

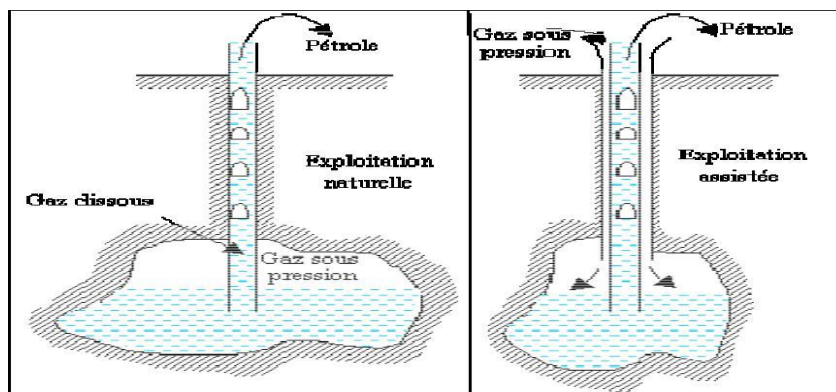


Figure I.15: Exploitation des gisements de pétrole.

I.3.4 DOMAINE HYDRAULIQUE

I.3.4.1. BARRAGE

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

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

I.3.4.2. CAPTAGE D'EAU

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

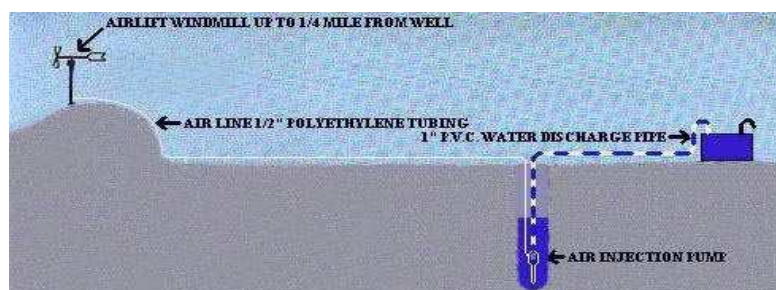


FIGURE I.16 PRODUCTION D'UN Puits D'EAU

I.3.4.3 TRAITEMENT DES EAUX USEES

a. Des sableurs

a.1. Des sableur 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 bulle. 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. Du sableur 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.

b. Bioréacteur

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

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).

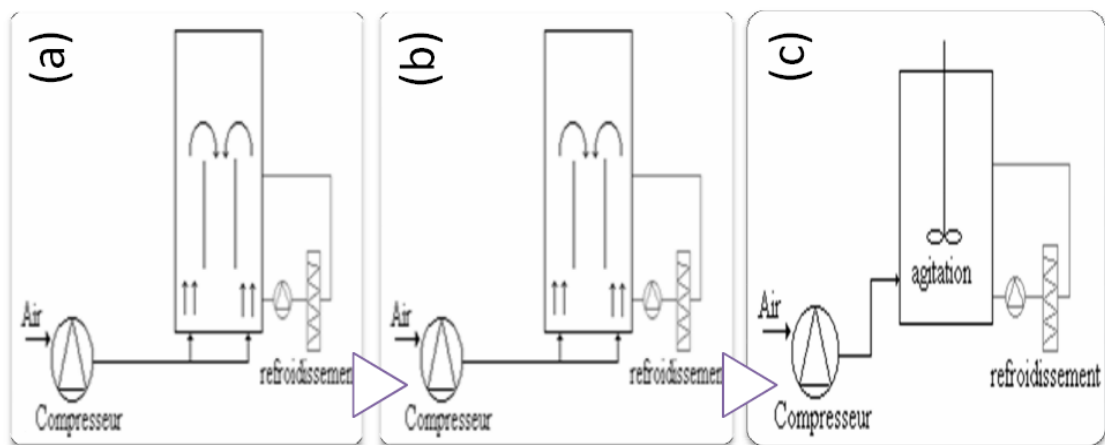


FIGURE I.18 DIFFERENTES AGITATIONS

b.2. Circulation de l'air-lift

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

c. Réacteur air lift

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

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

1. La jambe montante ou Riser.
2. La jambe des cédantes 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.

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

c.1. La structure de réacteur air lift

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

- Air lift à boucle externe :

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

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

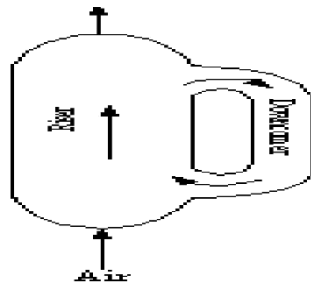


FIGURE I.19 AIR LIFT A BOUCLE EXTERNE

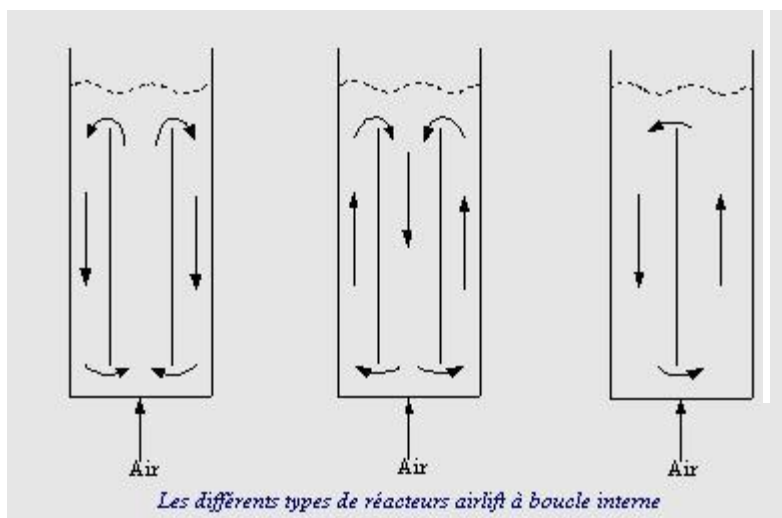


FIGURE I.20 AIR LIFT A BOUCLE INTERNE

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

I.3.4.4 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.

I.3.5 D'AUTRE DOMAINE D'APPLICATION

I.3.5.1 AERATION 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 ou levées à la surface de lac à travers l'action de l'air injecté.

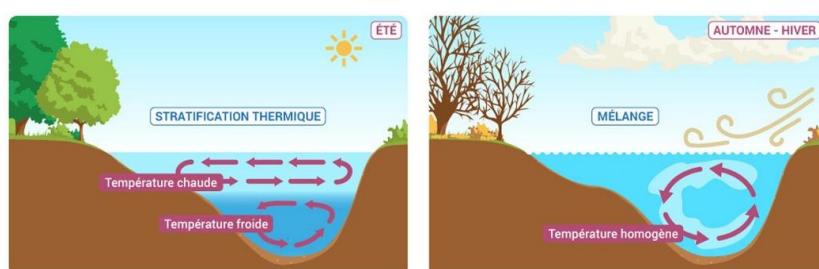


Figure I.21 Système de recirculation d'un lac

I.3.5.2 SYSTEME D'AQUACULTURE :

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

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

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

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

-Minimiser la stratification dans les opérations de l'aquaculture

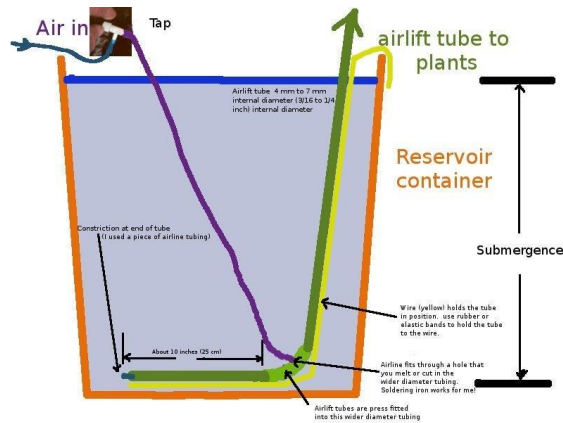


FIGURE I.21 AQUARIUM PAR TECHNIQUE AIR LIFT

· Système air lift soulève doucement les homards du fond océanique en haut au bateau sans être fait de 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 où mécanique. Les canaux de l'écoulement ouverts sont proposés d'être construit dans ce systèmes parce que les poissons ont une tendance à rester à l'intérieur de la conduit clandestine sombre, même si les conditions ne sont pas bons, le poisson hors de la cuvette de la prise est un processus critique parce que ils sont séparés de leur moye vivant naturel: par con séquent, la manutention douce est érigée. 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.

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.



FIGURE I.22 AERATION DES POISSONS

I.4 POMPAGE PAR AIR LIFT

Cette technique a été inventée par Carl Loscher à la fin du dix-huitième siècle (1782), 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.

I.4.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

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

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.

Les pompes d'air lift sont des appareils simples se composent généralement d'une évacuation verticale ou d'une conduite éjecteur immergé dans la masse de liquide à pomper. Une conduite d'air séparée est insérée dans le tuyau éjecteur à 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 environnant 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 la quele le compresseur doit fournir initialement l'air à la pompe pour qu'elle fonction ne.

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.

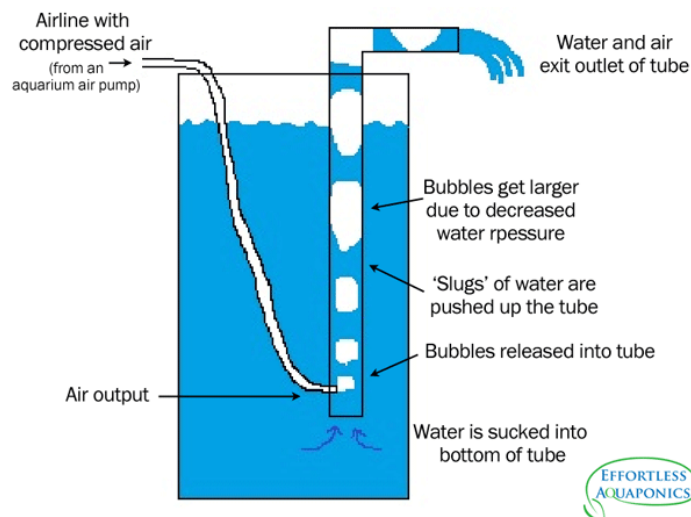


FIGURE I.23 SYSTEME DE POMPAGE PAR AIR LIFT.

Avantages de système air lift :

- Simplicité de construction de système ;
- Manque des problème de l'entretien, Particulièrement 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 impudicités ;
- Pas de risque d'abrasion de la pompe (puits sablonneux, des fouilles archéologiques en mer) ;
- Les coûts de l'entretien les plus bas ;
- Réduire le nombre décentra les électriques, machinerie ;
- Capacité de résister entraver, petit espace des exigences, adoucissez de règlement du taux du courant ;
- Sûreté et stabilité du fonctionnement ; [31]
- Assure un fonctionne ment à long terme.

Inconvénients de système air lif :

- 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 l hauteur manométrique total (HMT) est faible ;
- On retrouve nécessairement beaucoup d'air dans le liquide pompé, ce qui peut parfois être une problématique en fonction de l'usage requis. Par exemple, en station d'épuration, en amont d'un bassin anaérobie;
- Succion faible ;
- Taux du courant instable ;
- Obstruction fréquente ;
- Contrôle difficile du courant ;

I.5 CONCLUSION

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

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

Chapitre II

Approche théorique et exploration fonctionnelle

Le principe de fonctionnement de l'air-lift est celui d'une pompe dynamique de frottements. Le déplacement du mélange (air comprimé, eau), nommé aussi hydro-mélange, se produit à cause de différence de puissance que possède l'air comprimé entre l'entrée dans le système au niveau du mélangeur et la sortie sous forme de mélange par le séparateur. Cette puissance nécessaire au fonctionnement de l'air-lift est produite par un compresseur.

Sur la figure (2-1), on montre les schémas des différentes étapes de fonctionnement de l'air-lift. L'air comprimé est acheminé vers le mélangeur (2) par la conduite (1) [1]

Après injection, l'air s'échappe à travers l'eau dans la conduite de refoulement (4). A cause de la présence d'air, celle-ci devient plus légère que l'eau toute seule et elle produit une dépression au mélangeur. Dans un laps de temps très court, l'état d'équilibre statique de pression entre l'intérieur et l'extérieur est rompu. Pour revenir à l'état d'équilibre statique initial, l'eau de la conduite d'aspiration (3) est aspirée et gagne le mélangeur où s'effectue le mélange. Une augmentation

De pression s'installe dans le mélangeur et conduit à la remontée de l'eau dans la conduite (4).

Pour une injection d'air comprimé continue et sous l'effet de l'action du flux de celui-ci, puis de sa détente tout le long de la conduite (4), il se produit un déplacement continu de la masse d'eau, voir même un écoulement continue.

Cette opération réalise deux effets en même temps, allègement de la conduite la conduite (4) et aspiration de l'eau par la conduite (3). Ce qui lui confère un fonctionnement de pompe et qu'on appelle communément pompe à air-lift ou par poussée d'air.

A l'extrémité supérieure, un bac est prévu à cet effet pour recueillir l'eau refoulée, qui permet de séparer les deux constituants l'air et l'eau, nommé séparateur (5).

A présent, on donne les équations générales de mis en marche de la pompe air-lift en suivant les différents schémas de fonctionnement de la figure (1) :

Schéma " a "

Avant la mise en marche du compresseur, le mélangeur se trouve plongé à l'intérieur d'une masse d'eau sous la profondeur d'immersion géométrique h. La pression statique P_m dans le mélangeur est déterminée à l'aide de l'immersion géométrique absolue h comme suit :

$$P_m = \rho g h \dots\dots\dots \text{II.1}$$

ρ : masse volumique de l'eau .

h : Immersion géométrique.

Schéma " b

La mise en marche du compresseur et à une pression suffisante, l'eau du mélangeur s'échappe. Une partie de l'eau s'élève dans la conduite de refoulement (4) d'une hauteur Δh_a et une autre gagne le réservoir. La pression au niveau du mélangeur qui est celle de mise en marche du compresseur sera donc

$$P_m = \rho g (h + \Delta h_a) \dots\dots\dots \text{II.2}$$

P: Pression de mise en marche au niveau du mélangeur;

Δh_a : Hauteur d'élévation.

L'eau qui se trouvait dans la conduite d'air regagne la conduite de refoulement et le niveau dans cette dernière s'élève d'une quantité Δh_a qui se donne par la formule bien connue de Darcy-Weisbach :

$$\Delta h_a = R Q_l^2 \dots\dots\dots \text{II.3}$$

R : Résistance de la conduite de refoulement.

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

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

$$\Delta h_a = h \frac{d_a^2}{D^2} \dots\dots\dots \text{II.4}$$

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

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

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 :

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

Chapitre II : Approche théorique et exploration fonctionnelle

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.

$$P_{\text{moy.m.b}} = \rho_{\text{m.b}} \cdot g (H + h) \dots \dots \dots \text{(II.3)}$$

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

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

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

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

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

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 :

$$Q_l = \sqrt{\frac{h - \frac{p_{\text{mel}}}{\rho g}}{R}} \dots \dots \dots \text{(II.4)}$$

On développant :

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

Finalement :

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

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 :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho \cdot Q_l + \rho_a \cdot Q_a}{Q_l + Q_{amoy}} \dots \dots \dots (II.6)$$

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

$$Q_a = Q_{amoy} \cdot \left(\frac{P_{atm} + P_{moy}}{P_{atm}} \right) \dots \dots \dots (II.7)$$

Q_{amoy} : Débit moyen d'air ;

P_{moy} : Pression moyenne.

D'où

$$Q_{amoy} = Q_a \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2} \dots \dots \dots (II.8)$$

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

$$\rho_{mel} = \frac{Q_l \cdot \rho + Q_a \cdot \rho_a}{Q_l + Q_a \cdot \left(\frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2} \right)} \dots \dots \dots (II.9)$$

En divisant celle-ci par Q_l il vient :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho \left(1 + \frac{\rho_a \cdot Q_a}{\rho \cdot Q_l} \right)}{1 + \frac{Q_a}{Q_l} \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_m/2}} \dots \dots \dots (II.10)$$

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 :

$$q = \frac{Q_a}{Q_l} \dots\dots\dots (II.11)$$

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

$$\rho_{mel} = \frac{\rho(1 + \frac{\rho_a}{\rho} \cdot q)}{1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_{m/2}}} \dots\dots\dots (II.12)$$

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

On pourra ainsi écrire :

$$\rho_{mel} = \frac{\rho}{1 + q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_{m/2}}} \dots\dots\dots (II.13)$$

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

$$q_{moy} = q \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_{m/2}} \dots\dots\dots (II.14)$$

Remplaçons cette dernière dans (II.13)

$$\rho_{mel} = \frac{\rho}{1 + q_{moy}} \dots\dots\dots (II.15)$$

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

$$\rho g h = \rho_m g (h + H) + \rho_m g \cdot \Delta h_m \dots\dots\dots (II.16)$$

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

Q_m : Débit du mélange.

$$\rho h = \rho_m (h + H) + \rho_m R Q_m^2 \dots\dots\dots (II.17)$$

Ou

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

D'autre part on a :

$$Q_m = Q_l + Q_{amoy} \dots \dots \dots (II.19)$$

Remplaçons (II.8) dans (II.19) :

$$Q_m = Q_l + Q_a \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + P_{m/z}} \dots \dots \dots (II.20)$$

Finalement :

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

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

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

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

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

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

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

Ψ : coefficient de résistance hydraulique ;

D : diamètre de la conduite de refoulement.

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

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

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

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

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 (II.25).

II.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.

$$\eta = \frac{N_a}{N_f} \dots \dots \dots (II.27)$$

N_a : Puissance absorbée par l'air lift.

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

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

N_f : Puissance fournie par le compresseur.

$$N_f = Q_a \cdot P_a \cdot L_n \cdot \frac{P_m + P_a}{P_a} \dots \dots \dots (II.29)$$

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

$$\eta = \frac{\rho_m \cdot g \cdot Q_l \left(H + \frac{V_s^2}{2g} \right)}{Q_a \cdot P_a \cdot L_n \cdot \frac{P_m + P_a}{P_a}} \dots \dots \dots (II.30)$$

Après transformation (II.30) devient :

$$\eta = \frac{\left(H + \frac{V_s^2}{2g} \right)}{q \cdot h_a \cdot L_n \cdot \left(1 + \frac{P_m}{P_a} \right)} \dots \dots \dots (II.31)$$

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

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

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

$$P_{air\ com} = P_{sorti} - P_{entré} \dots \dots \dots (II.32)$$

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

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

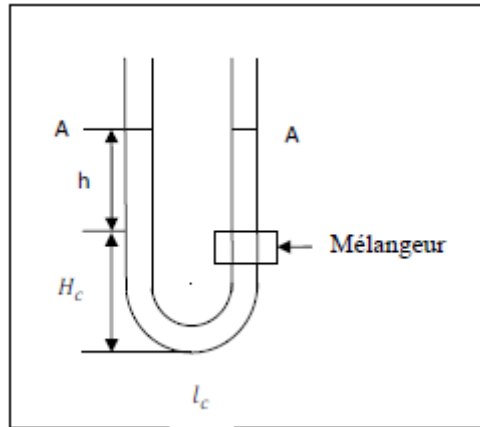


Figure II.1: Paramètres introduits dans le calcul de résistance spécifique

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

$$\rho_l g h + \rho_l g H_c + P_a = P_m + \rho_l g H_c + \rho_l L_c R Q_l^2 \dots \dots \dots (II.34)$$

$$P_m = \rho_l g h - \rho_l g L_c R Q_l^2 + P_a \dots \dots \dots (II.35)$$

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

$$P_{entrée} = \rho_l g h Q_l - \rho_l g R L_c Q_l^2 + P_a Q_l \dots \dots \dots (II.36)$$

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

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

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

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

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

On peut tracer les courbes suivantes

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

$$aa' Q_m^2 = f(q)$$

II.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.

$$q = q_{th} + q_a \dots \dots \dots (II.39)$$

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

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

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 alpha. Selon KOZEREASKI et à partir des résultats expérimentaux on obtient la fonction $q=f(\alpha)$

en devisant l'air lift en deux catégories :

Air-lift long :

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

Air-lift court:

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

e de 10 à 20 mètre

Afin de bien comprendre le fonctionnement du système et d'optimiser le travail du système air-lift, on tracera les différentes caractéristiques théoriques et on essayera d'interpréter les courbes en fonction des paramètres principaux q et α ressorties dans l'analyse théorique.

Remarque : A ce stade d'effet , tous ce développement analytique n'aurait été possible que par la simplicité d'expression des formules que permet le modèle homogène et qui restent valable dans les limites de validité de celui-ci à savoir l'adhérence complète et totale des deux phases et l'absence de tous déséquilibre de quelque nature qu'il soit. Il est bien évident que dans la réalité, des manifestations autres apparaissent dues aux conditions pratiques les plus variées. Ces derniers doivent être prises en charge autrement ou du moins les mettre en évidence dans un cadre de compréhension du système

Chapitre III

Etude expérimentale

Chapitre III Etude expérimentale

III.1. But de l'expérience

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

III.2. Matériels

III.2.1. Eléments constructifs

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

III.2.2. Instruments de mesure

- Déversoir triangulaire ;
- Réservoir cylindrique en plastique ;
- Diaphragme ;
- Chronomètre ;
- Limnimétrie.

III.2.3. Produits utilisés

- Air comprimé ;
- Eau ;
- Mercure.

III.3.Représentation de matériel

III.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.

III.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.



Figure III.1:Compresseur

III.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.



Figure III.2:Séparateur

III.3.4. Mélangeur

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

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

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

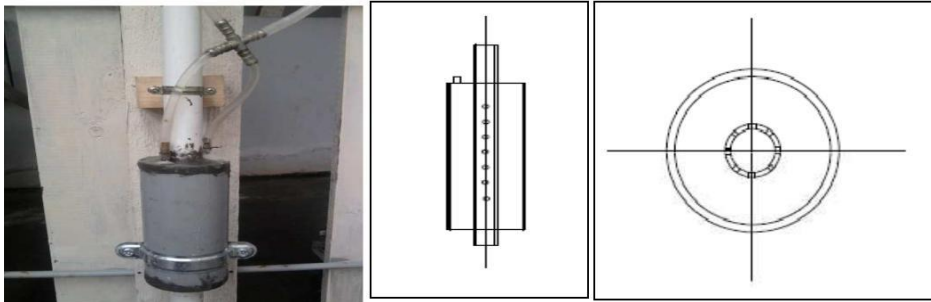


Figure III.3:Schéma réel et dessin technique de mélangeur

III.3.5. Régulateur de débit

Le régulateur assure un débit d'air constant

III.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.

III.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 .



Figure III.4 : Réservoir d'alimentation

III.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.



Figure III.5:Limnimétrie

III.3.9. Manomètre

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



Figure III.6:Manomètre

III.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.

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.

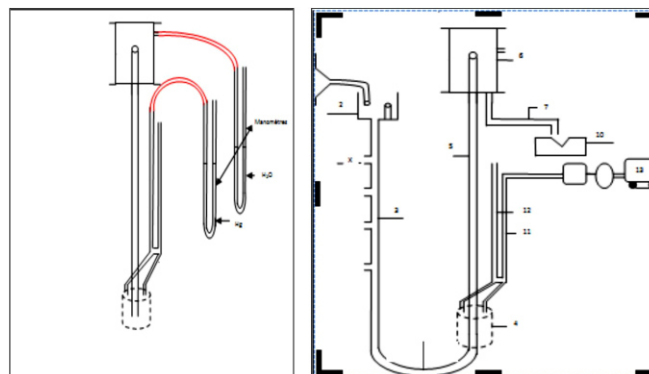


Figure III.7: Descriptionschématique de l'installation



Figure III.8:Branche B de l'installation

III.5. Manipulations et mesures

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

Systeme 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'intérieurde mélangeur.

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

On remarque :

La rapidité d'ascension du mélange (air-eau) ;

La formation d'une multitude de petites bulles devenant plus en plus grosses en remontant la conduite (5) et s'agglomèrent pour donner naissance à une grosse bulle de forme apoïde.

Le phénomène se déroule dans une discontinuité nette entre les deux phases air-eau, le

mélange occupe alors la totalité de la section de la conduite (5) on reconnaît par 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 jets 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.

III.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.

III.6.1. Diaphragme

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

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

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

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

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



Figure III.9:Diaphragme

Figure III.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.

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

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 résistances au mouvement.

Les prises de pression sont placées aux distances suivantes :

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

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

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

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

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 $Q_a = \epsilon S_2 \sqrt{2g\Delta h}$

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

III.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. III-11) qui permet d'obtenir par interpolation le débit massique (\dot{m} (g/s)) en fonction de la dénivelée

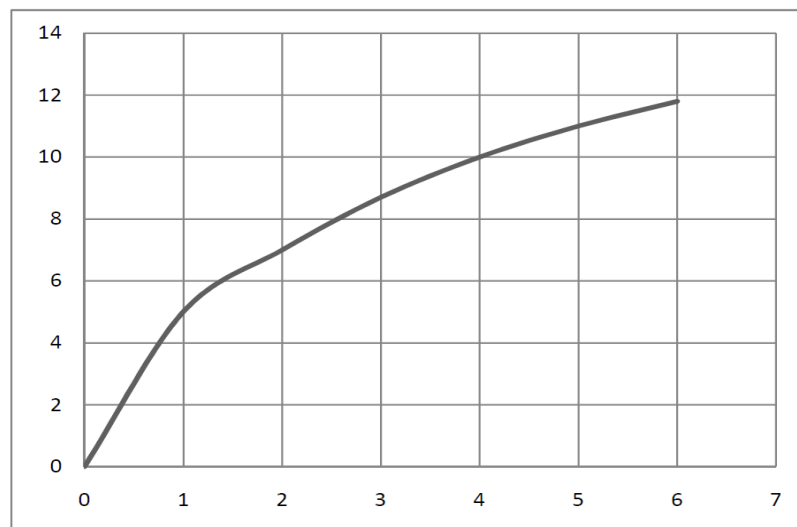


Fig. IV-11: Courbe d'étalonnage du manomètre à eau incliné $\text{Log}(Q) = \text{Log}(h)$.

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.

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

III.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.



Figure III.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)

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

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

Où :

- ✓ Q : Débit (m^3/s);
- ✓ μ : Le coefficient de débit $f(a, h/p, p/B)$;
- ✓ g : L'accélération de la pesanteur ($9,81 m/s^2$);
- ✓ θ : L'angle formé par les parois de l'échancrure;

- ✓ H_e : La charge piézométrique fictive ou hauteur de la surface liquide amont par rapport au point bas de l'échancrure (m).

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

III.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.

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 dèsque 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.

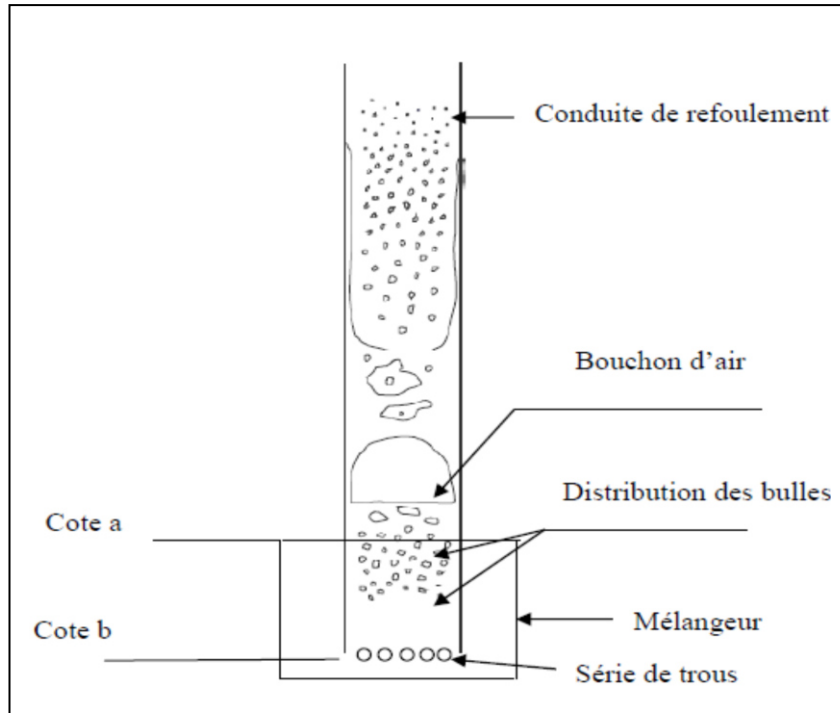


Figure III.17:Schéma

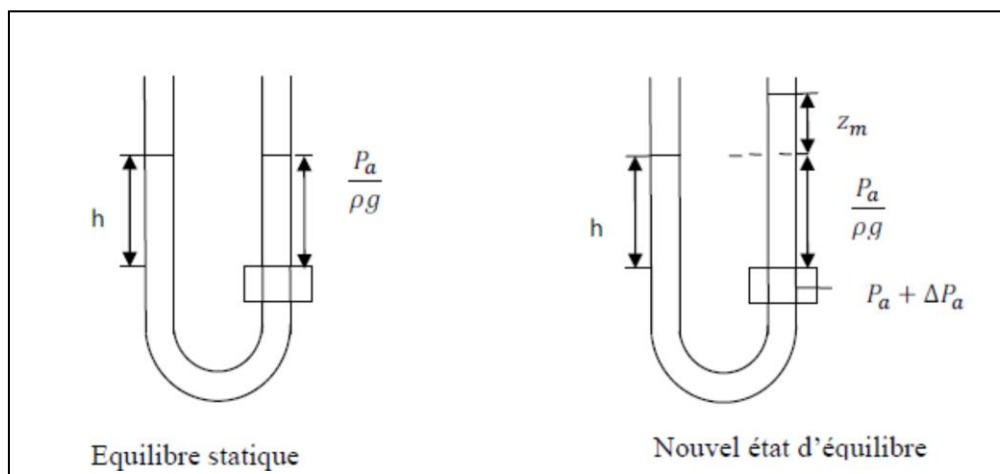


Figure III.18:Schéma

III.8 Conclusion

On a montré les points importants suivants :

A travers cette étude analytique et le tracé préliminaire de certaines caractéristiques, il ressort que l'approche faite sur le fonctionnement du système air-lift en prenant les hypothèses suivantes :

un mélange diphasique homogène représenté par sa masse volumique

une projection en écoulement continu unidimensionnelle du bilan d'énergie donnée par l'expression globale de Darcy-Weisbach.

la nature thermodynamique de la détente isothermique de l'air comprimé au sein de l'eau. L'approximation du taux de vide constant le long de la conduite air-lift,

Affectation d'un coefficient de frottement de l'écoulement constant quelque soit les régimes.

En négligeant la contribution de la masse volumique de l'air comprimé

Par la définition d'un seul coefficient d'efficacité primaire du système air-lift et englobé uniquement par le rendement thermodynamique de la détente.

La branche de gauche semble être en conformité avec la réalité pratique dans ce domaine de pompage. Pour la branche de droite des caractéristiques qui tendent apparemment vers une asymptote horizontale constante, elles doivent chuter puisqu'elle correspond à l'épuisement de la réserve d'eau (calcul à vérifier). Les seuls paramètres avec quoi on peut expliquer le fonctionnement du système air-lift, dans tous ses états sont : l'immersion relative α et le débit spécifique q .

Tout le comportement du système dépendra principalement des valeurs prises par ces deux paramètres et d'une possible relation fonctionnelle entre eux comme le montre les propositions des précurseurs, (Kozereatzki) dans ce domaine.

Par ailleurs, une formulation analytique reprenant une approche hydraulique monophasique globale du phénomène d'écoulement du mélange isotherme air-eau représenté par la loi de Darcy a été fournie sur la base des hypothèses données en 1. Celle-ci est supportée par des expressions accessibles au calcul de ce genre de système de pompage air-lift dans sa généralité moyennant certaines hypothèses à approfondir sur les modèles d'écoulement diphasique du mélange air-eau dans une conduite, sur l'aspect physique de la réalisation d'un mélange avec moins de déficience possible principalement au niveau

mélangeur entre autre. Elle nous a permis de définir les expressions analytiques explicites suivantes :

du débit liquide de l'air-lift

de la résistance hydraulique de la conduite à l'aide de la formule (2.64) servant au dimensionnement éventuel.

du modèle mathématique air-lift moyennant la détermination du rendement réel du système.

du coefficient de débit de la conduite du mélange.

du débit spécifique théorique, à adapter selon les cas réels connaissant le rendement réel.

du débit d'air minimum de barbotage.

Ces expressions n'étaient possibles que grâce aux hypothèses simplificatrices citées en 1. En général, réputés par leur complexité les écoulements diphasiques ne se prêtent pas aux formulations analytiques qu'au prix fort d'un effort théorique conséquent Wallis (1969), Ishii (1975).

Chapitre IV

Coté de programmation

Chapitre IV Coté Programmation

I.1. coté programmation

L'équation utilisée si les programmes

Dans la section Programmation, nous montrons l'équation utilisée dans les programmes.

I.1.1. Variation de débit liquide en fonction de d'air ($\Psi=0.04$)

Nous développons un programme pour la variance du débit de fluide en fonction de l'air .

%Partie déclaration

clearall;

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

```

fori=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

```

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

Nous représentons le débit de fluide en fonction du débit d'air pour différents alpha

```

%Partie déclaration

%Partie déclaration

clearall;

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;

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

fori=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');
holdall,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)');

```

I.1.3. Débit liquide en fonction de débit d'air pour différents diamètres

Nous faisons un programme pour l'écoulement du liquide en fonction du débit d'air avec différents diamètres

```
%Partie déclaration
```

```
%Partie déclaration
```

```
clearall;
```

```
;%débit d'air de
```

```
Qa0=0.00 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);
```

```
% Ql=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
fori=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
end
%plot(Qa,Ql)
hold on ,plot(Qa,1000.*Ql);

```

```

%title('Ql=f(Qa)');%Graphe ....
%reply = input('Do you want more? Y/N [Y]: ', 's');
%plot(q,Qa);title('q=f(Qa)');
trapz(Qa,Ql)
end
hold off

```

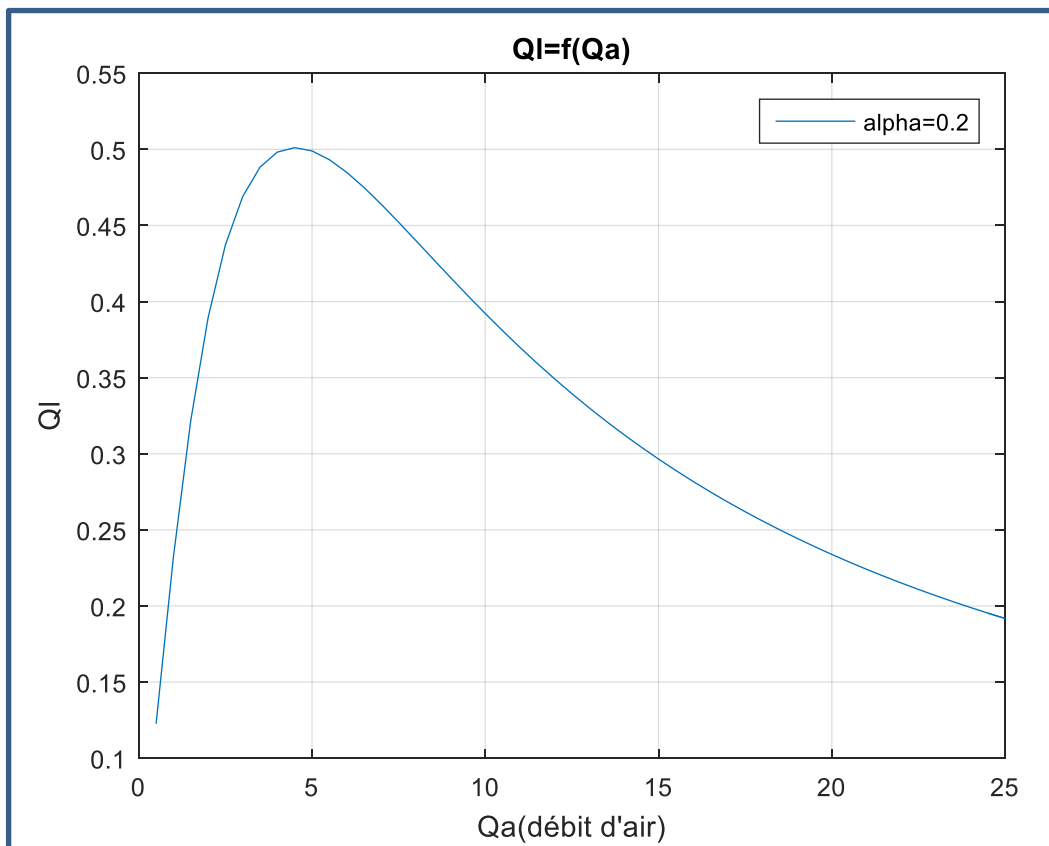


Fig-1 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

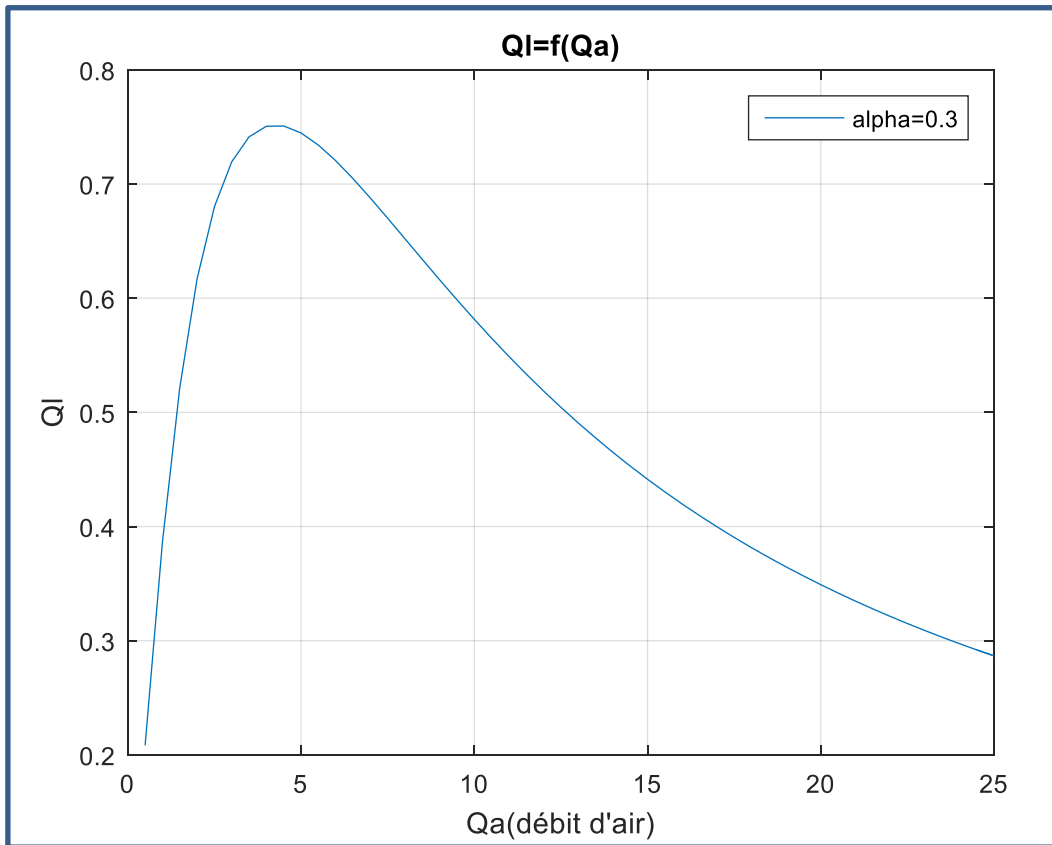


Fig-2 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

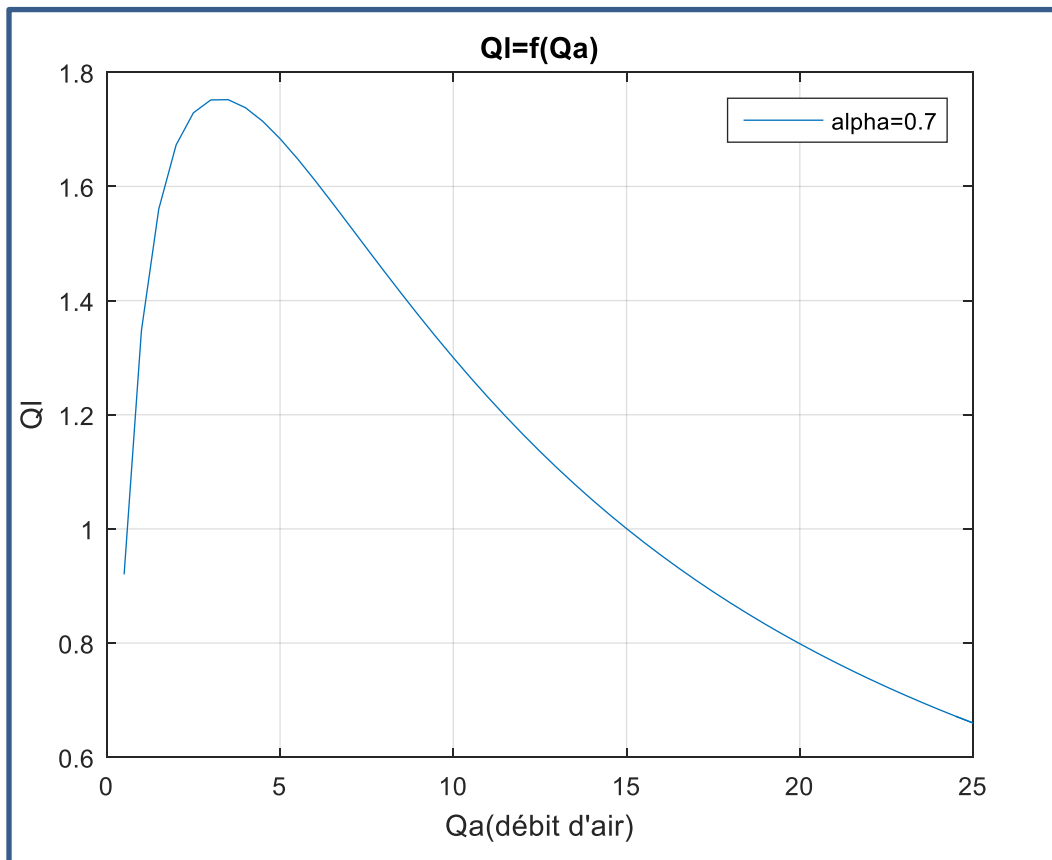


fig-3 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

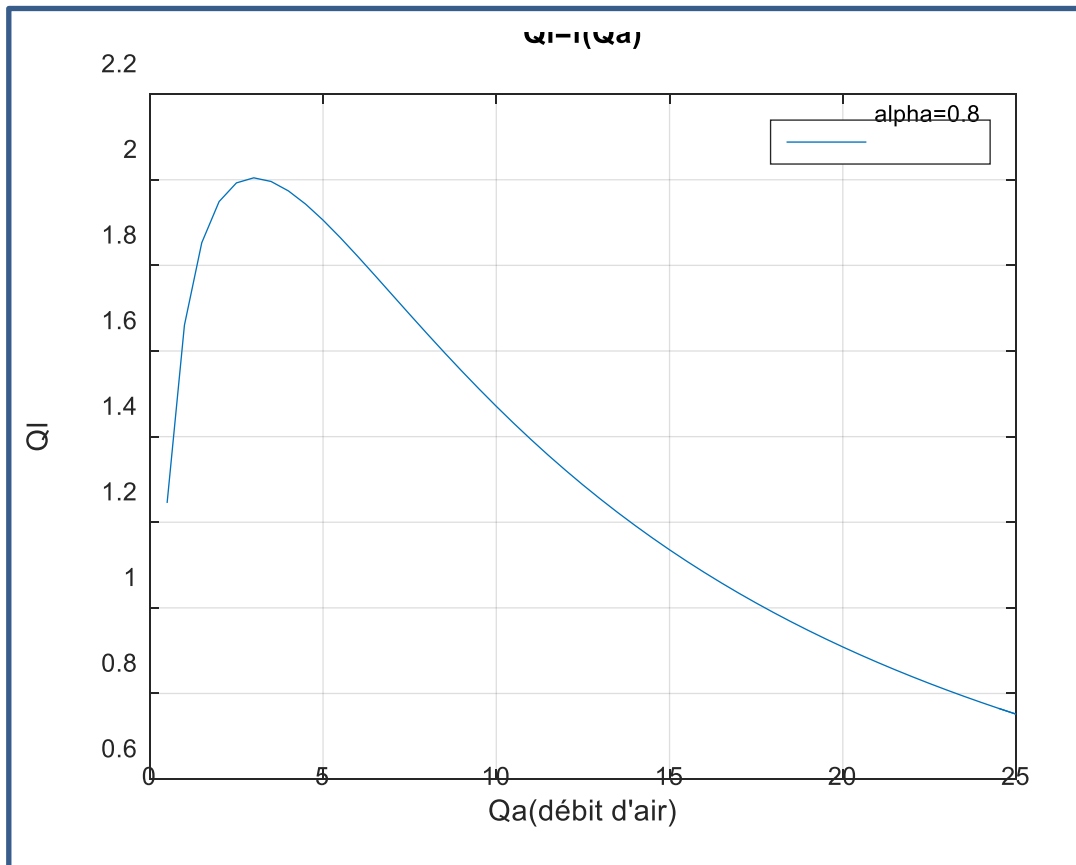


Fig-4 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

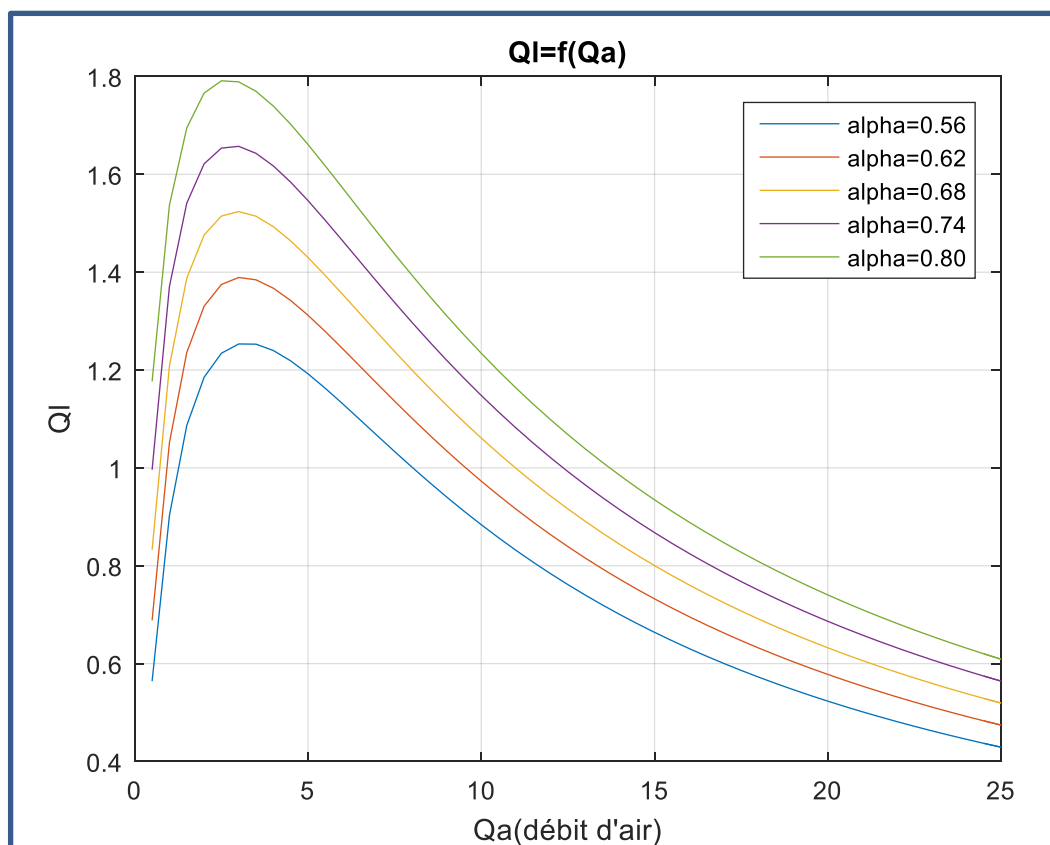


fig-5 Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes valeurs d'alpha

A noter que pour (diamètre D, immersion h, quelle que soit la valeur α

Le débit de liquide augmente ainsi que le débit d'air.

Pour les grands débits d'air, le débit de fluide diminue en raison du tube

La décharge est remplie d'air comprimé, qui obstrue le passage d'eau et le renvoie

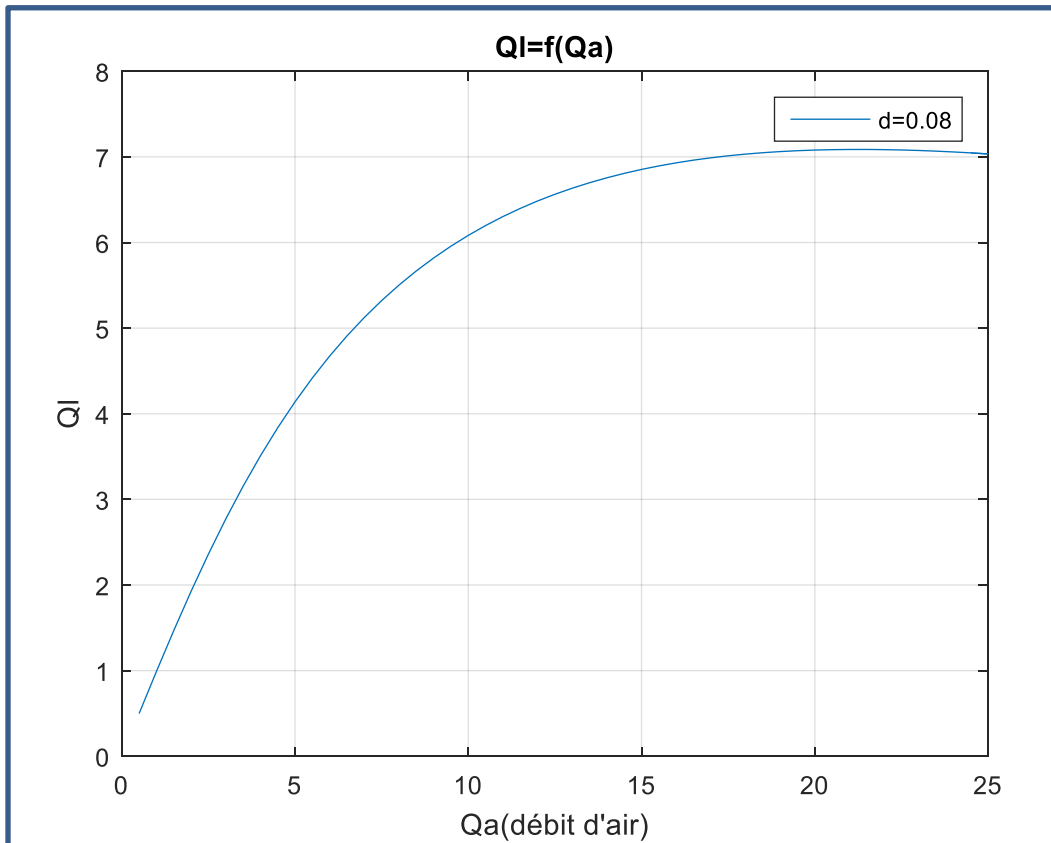


fig-6 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

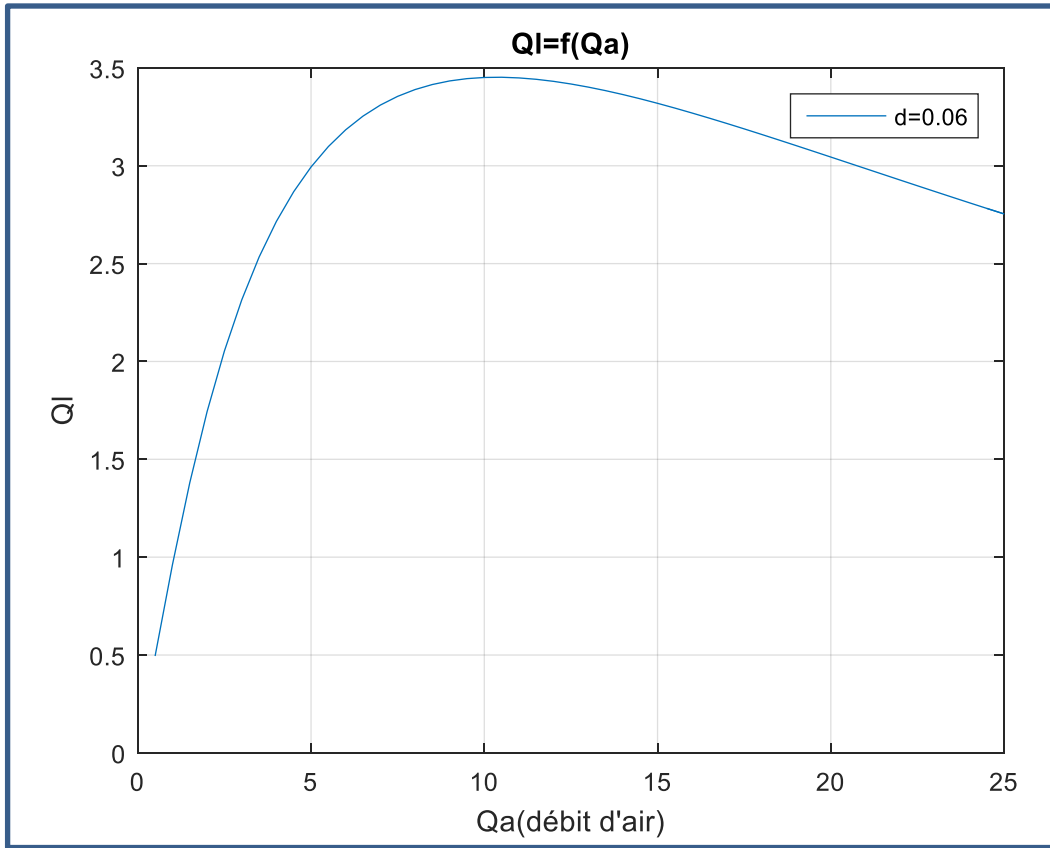


fig-7 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

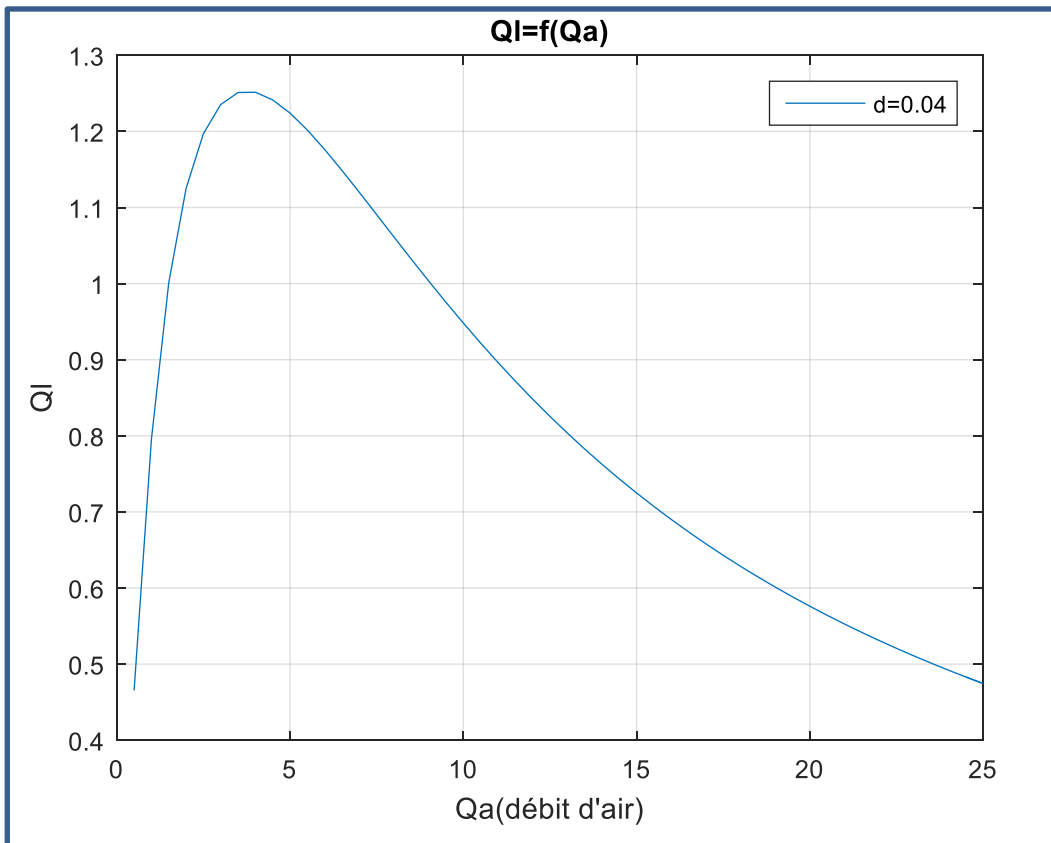


fig-8 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

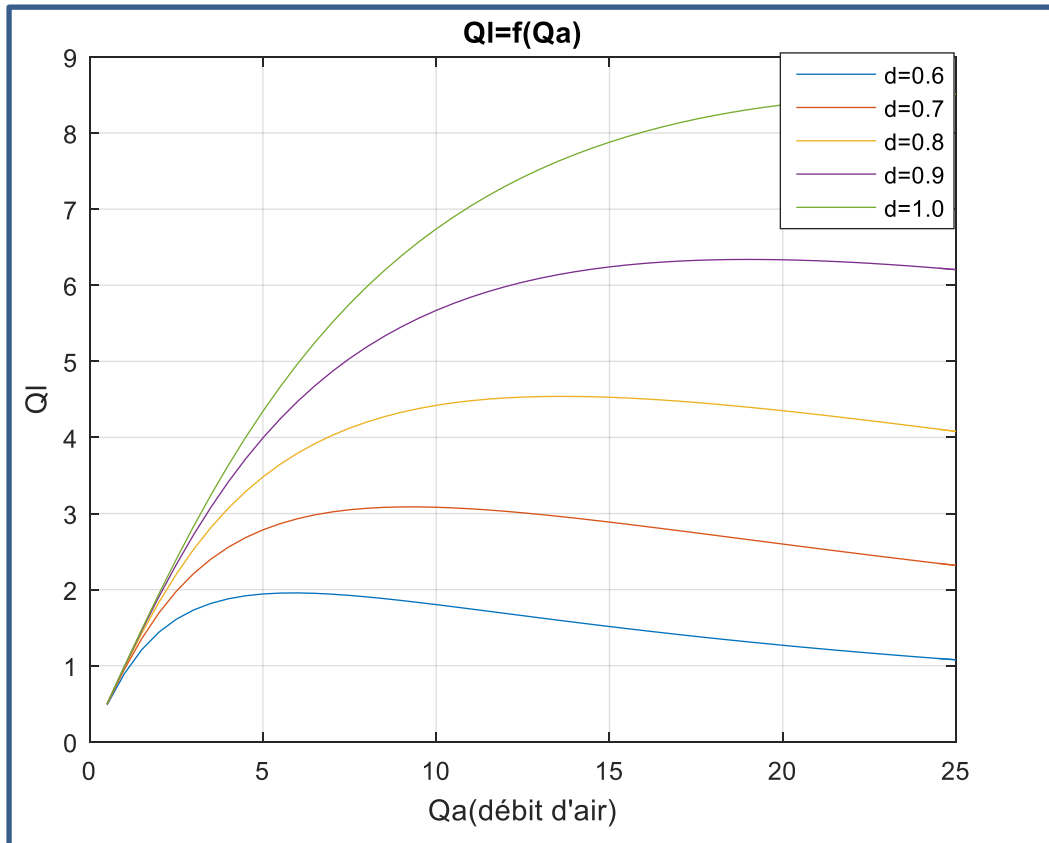


fig-9 Débit liquide en fonction de débit d'air pour différentes diamètres

Courbes $Q_l=f(Q_a)$ variation de D

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

La variation de la décharge en ce qui concerne différentes diamètres . L'augmentation de débit d'air veut dire que les particules d'eau restent en arrière

de l'air et la décharge de la pompe baisse par contre l'augmentation de diamètre du la conduite réduit le débit de l'air et augment la décharge de la pompe. Il est trouvé que lorsque le débit d'air est plus important la décharge est négligeable dans les conduites étroites, on conclue qu'on a une meilleure efficacité pour les conduites à grand diamètre.

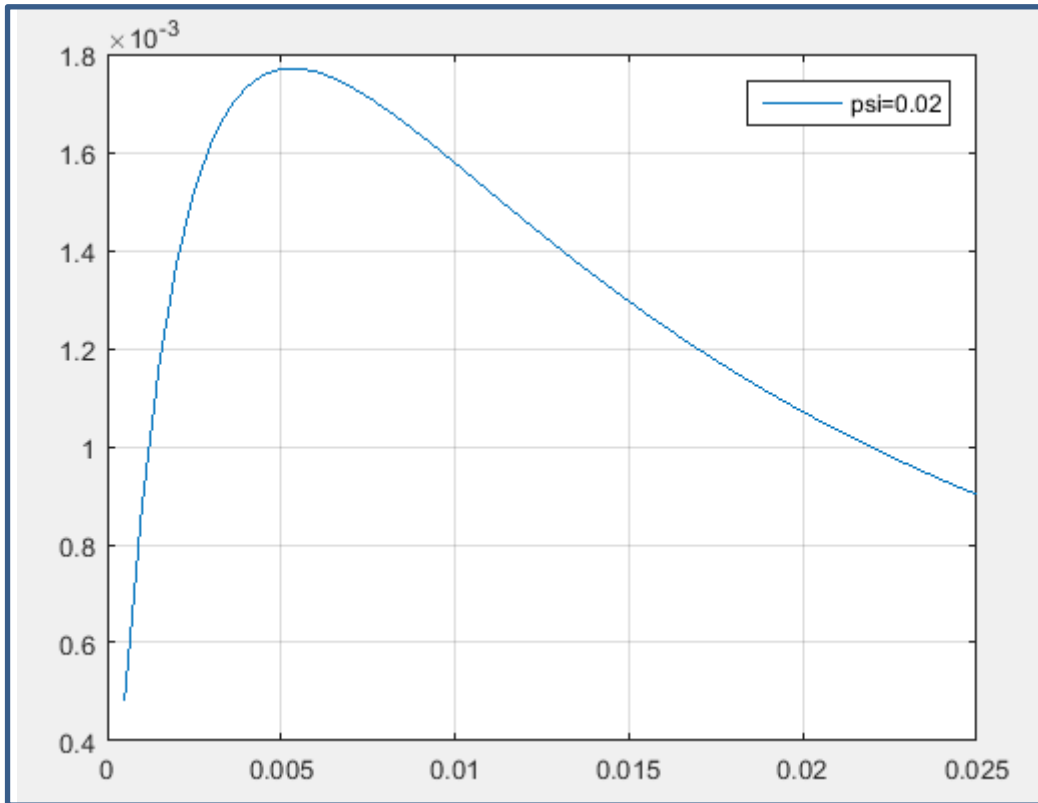


Fig-10 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

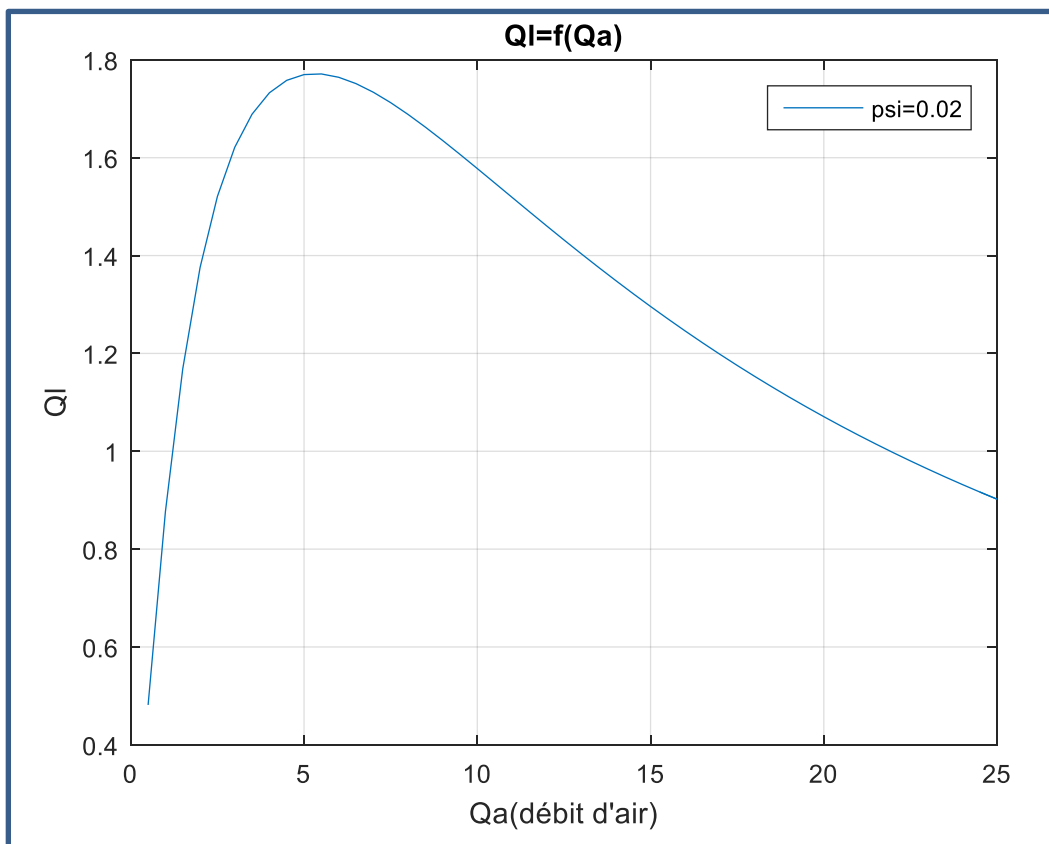


fig-11 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

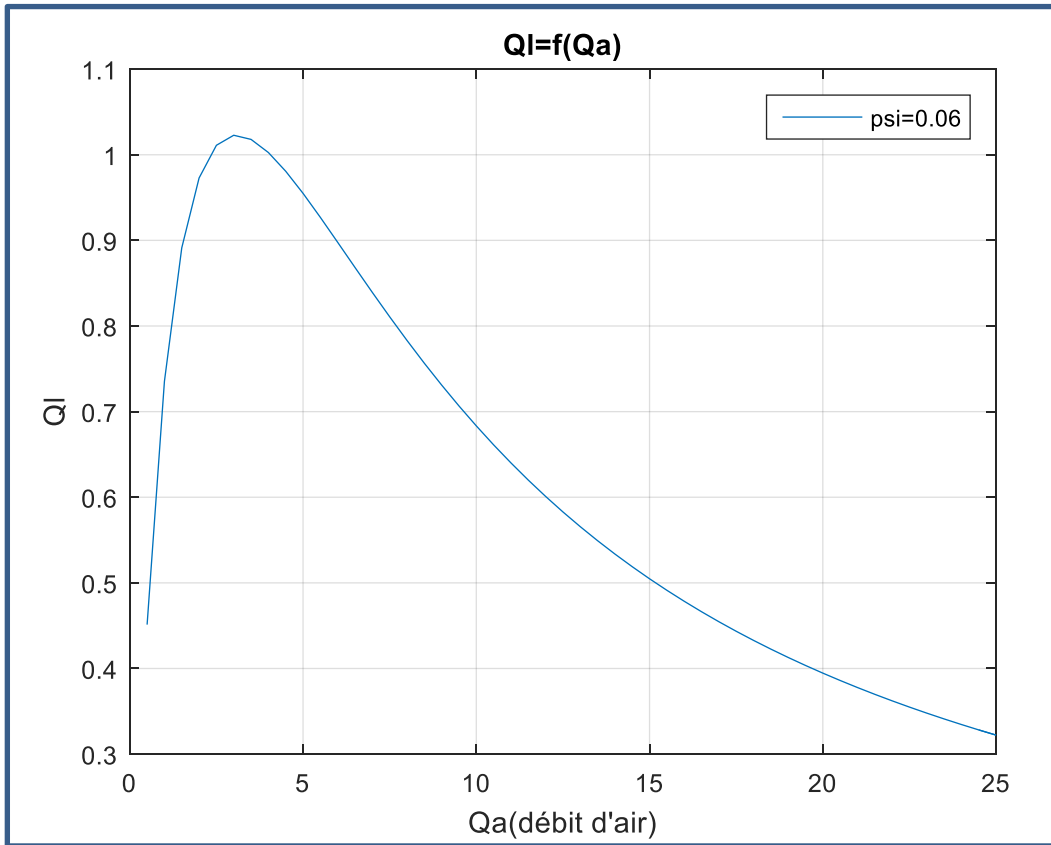


Fig-12 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

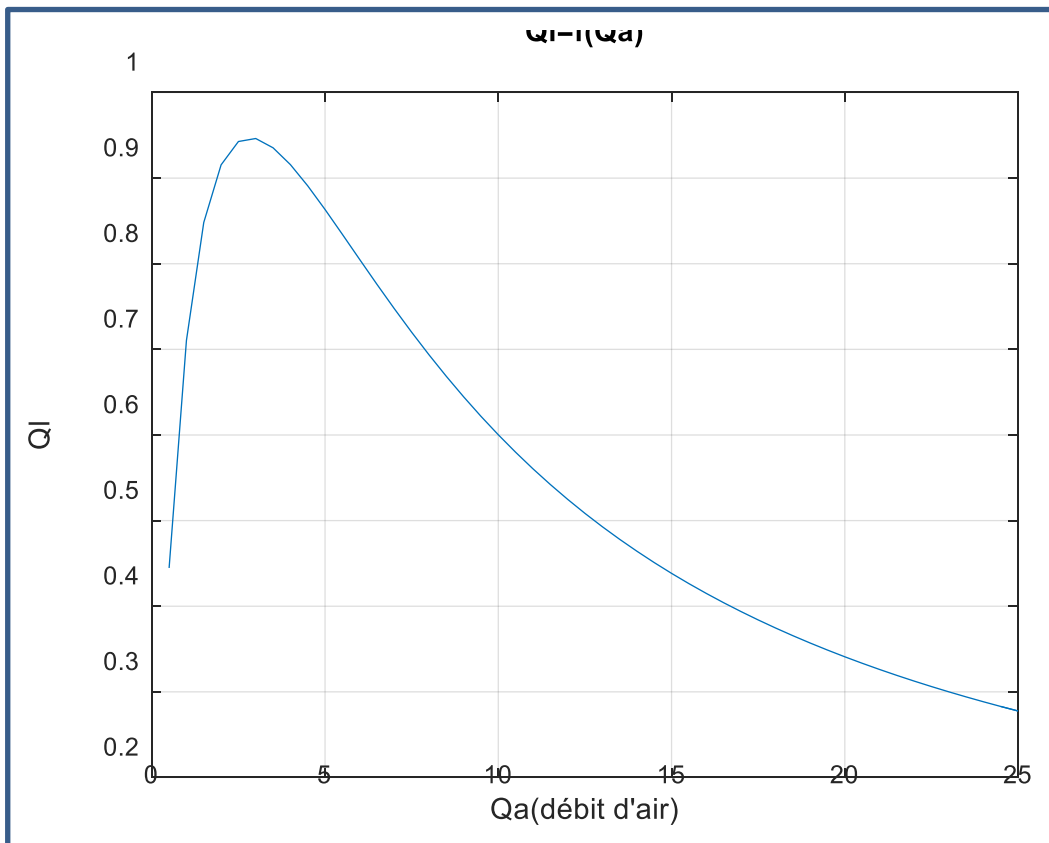


Fig-13 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

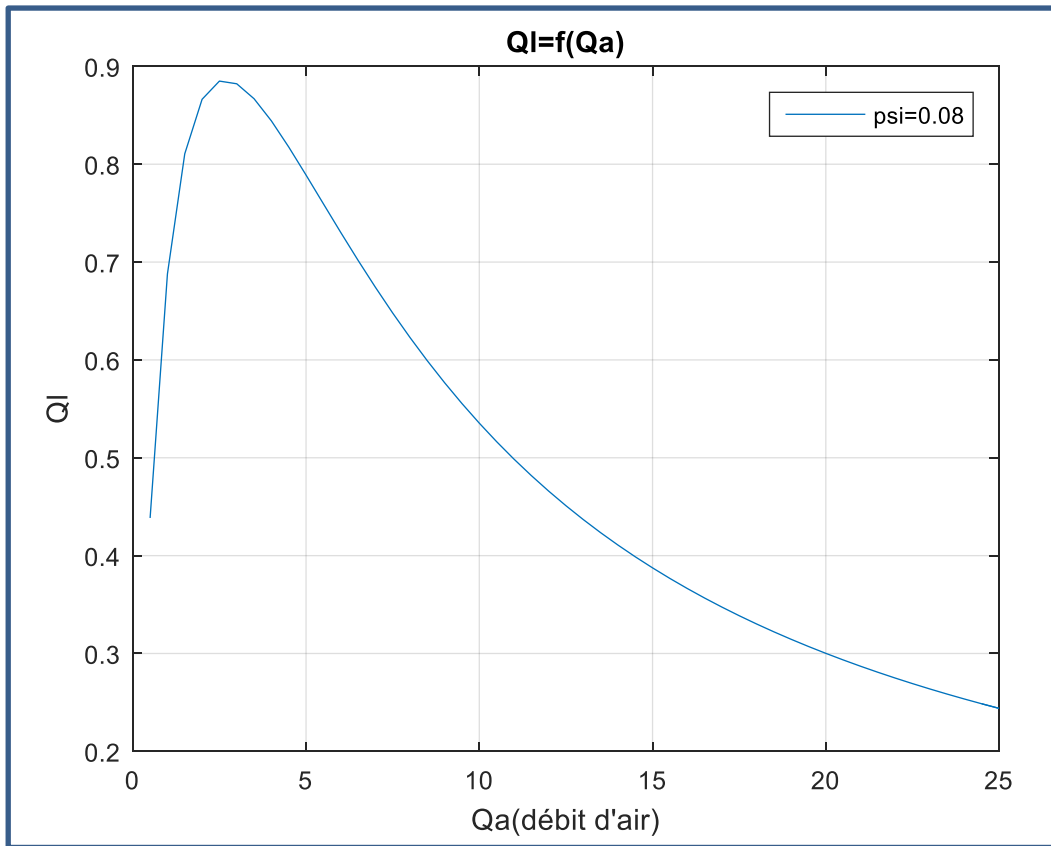


Fig-14 Variation de débit liquide en fonction de débit d'air

Fig- Variation de débit liquide en fonction de débit d'airfig-f

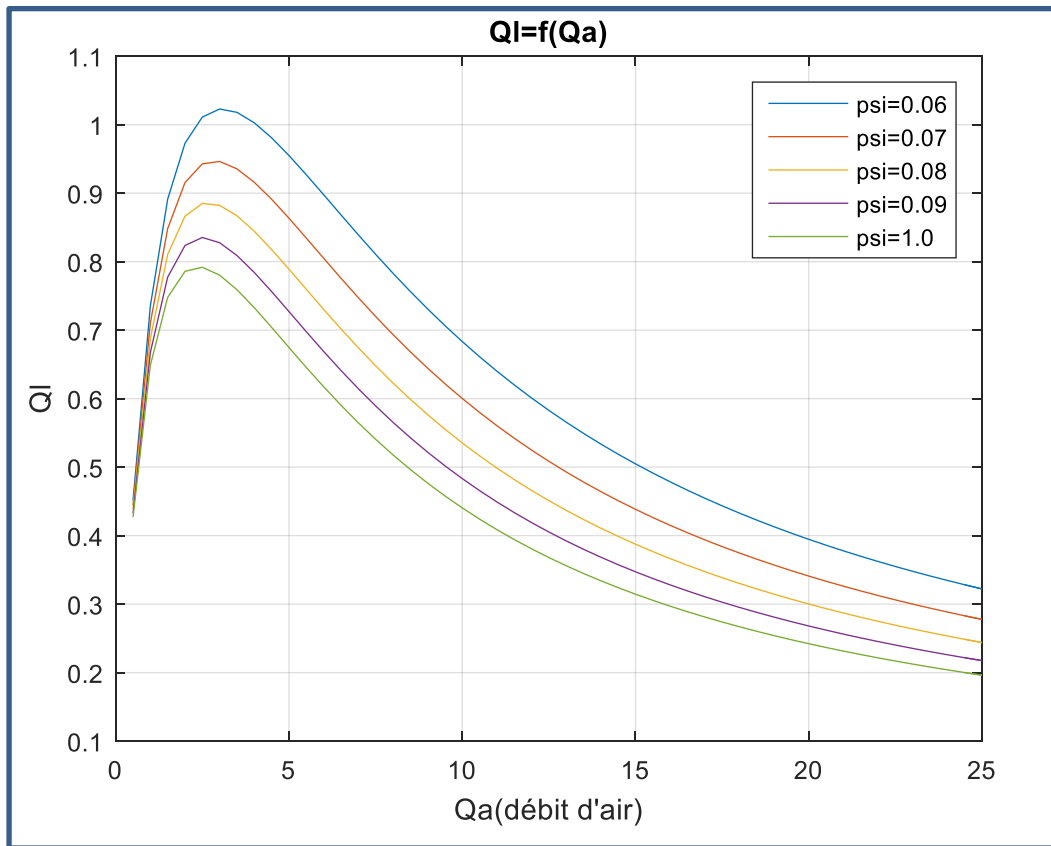


fig-15 variation de débit liquide en fonction de débit d'air

Afin de bien comprendre le fonctionnement du système et d'optimiser le fonctionnement du système de levage pneumatique, nous dessinerons les différentes caractéristiques théoriques et tenterons d'interpréter les courbes en fonction des principaux paramètres q et α indiqués dans l'analyse théorique.

Remarque : A ce stade d'effet, tout ce développement analytique n'aurait été possible que par la simplicité d'expression des formules que permet le modèle homogène et qui restent valable dans les limites de validité de celui-ci à savoir l'adhérence complète et totale des deux phases et l'absence de tous déséquilibre de quelque nature qu'il soit. Il est bien évident que dans la réalité, des manifestations autres apparaissent dues aux conditions pratiques les plus variées. Ces derniers doivent être prises en charge autrement ou du moins les mettre en évidence dans un cadre de compréhension du système

I.2. Interprétation des résultats :

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

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

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

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

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

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

La représentation graphique de variations du débit liquide en fonction de débit d'air pour plusieurs valeurs différentes de l'immersion relative α fait apparaitre 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.

Conclusion général

Conclusion général

On a montré les points importants suivants :

A travers cette étude analytique et le tracé préliminaire de certaines caractéristiques, il ressort que l'approche faite sur le fonctionnement du système air-lift en prenant les hypothèses suivantes :

un mélange diphasique homogène représenté par sa masse volumique

une projection en écoulement continu unidimensionnelle du bilan d'énergie donnée par l'expression globale de Darcy-Weisbach.

la nature thermodynamique de la détente isothermique de l'air comprimé au sein de l'eau. L'approximation du taux de vide constant le long de la conduite air-lift,

Affectation d'un coefficient de frottement de l'écoulement constant quelque soit les régimes.

En négligeant la contribution de la masse volumique de l'air comprimé

Par la définition d'un seul coefficient d'efficacité primaire du système air-lift et englobé uniquement par le rendement thermodynamique de la détente.

La branche de gauche semble être en conformité avec la réalité pratique dans ce domaine de pompage. Pour la branche de droite des caractéristiques qui tendent apparemment vers une asymptote horizontale constante, elles doivent chuter puisqu'elle correspond à l'épuisement de la réserve d'eau (calcul à vérifier). Les seuls paramètres avec quoi on peut expliquer le fonctionnement du système air-lift, dans tous ses états sont : l'immersion relative α et le débit spécifique q .

Tout le comportement du système dépendra principalement des valeurs prises par ces deux paramètres et d'une possible relation fonctionnelle entre eux comme le montre les propositions des précurseurs, (Kozereatzki) dans ce domaine.

Par ailleurs, une formulation analytique reprenant une approche hydraulique monophasique globale du phénomène d'écoulement du mélange isotherme air-eau représenté par la loi de Darcy a été fournie sur la base des hypothèses données en 1. Celle-ci est supportée par des expressions accessibles au calcul de ce genre de système de pompage air-lift dans sa généralité moyennant certaines hypothèses à approfondir sur les modèles

d'écoulement diphasique du mélange air-eau dans une conduite , sur l'aspect physique de la réalisation d'un mélange avec moins de déficience possible principalement au niveau mélangeur entre autre. Elle nous a permis de définir les expressions analytiques explicites suivantes :

du débit liquide de l'air-lift

du modèle mathématique air-lift moyennant la détermination du rendement réel du système.

du coefficient de débit de la conduite du mélange.

du débit spécifique théorique, à adapter selon les cas réels connaissant le rendement réel.

du débit d'air minimum de barbotage.

Ces expressions n'étaient possibles que grâce aux hypothèses simplificatrices citées en En général, réputés par leur complexité les écoulements diphasiques ne se prêtent pas aux formulations analytiques qu'au prix fort d'un effort théorique conséquent Wallis (1969), Ishii (1975).

Comme, il est montré en 2 et afin de permettre un calcul et un dimensionnement prédictif explicite du système air-lift, une possible construction théorique de cette relation de dépendance si elle existe entre le débit spécifique q et les immersions relative, reste toujours souhaitable. Le cas échéant, on doit recourir à l'expérimentation.

Références bibliographiques

Bibliographique

- [1] **A. BENTABOUCH, S. ZEGHLACHE.** « Etude expérimentale de l'Air lift » .Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, département hydraulique, janvier 1988.
- [2] **A. FETHI.** « Ecoulement Gaz- Liquide dans les conduites », document Internet « www.univ-nantes.fr ».
- [3] **A. NENES1 , A. COPOULOS1 , N. MARKATOS1 , et E. MITOULIS2 .** « Simulation of Airlift Pumps for Deep Water Wells»,1Department of Chemical Engineering, National Technical University of AthensGreece,2Department of Chemical Engineering, University of Ottawa Canada.
- [4] **A. OUIGUINI.** « Écoulements diphasiques Application à une installation de transport pétrolier à partir d'un gisement off-shore », Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, département hydraulique, promotion 2006.
- [5] **B. COLLINGNON, I.N.R.M Tlemcen-Algérie.** « Etude expérimentale des principaux paramètres des dispositifs de pompage d'air lift » 1986.
- [6] **B. GOURICH.** « Analyse et étude comparative des performances hydrodynamiques et de transfert gaz-liquide dans trois types de réacteurs poly phasiques » Thèse de doctorat d'état spécialité génie des procédés.29 Mai 2006.
- [7] **C. BEN TALHA, B. BOUZEMLAL.** « Etude théorique et pratique d'un écoulement diphasique » Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, département hydraulique, promotion 1999.
- [8] **C. PELLETIER.** « Appareil de levage » AG 7010.
- [9] **D.J REINMANNE.** « A theoretical and experimental study of air lift pumping and aeration with reference to aquacultural applications », Université de Cornell. promotion 1987.
- [10] **D.J. REINMANNE, J.Y. PARLANGE et M.B. TIMMONS.** « Theory of small diameter air lift pumps » agricultural Engineering Department, Cornell University, Ithaca, NY 14853-5701, U.S.A.juine 1989.
- [11] **D J. REINMANNE, J. HANSEN, M. RAABE.** « Demonstration of airlift pump and lignocellulosics in recirculation aquaculture systems ».Department of Biological Systems Engineering University of Wisconsin-Madison,May 2001.
- [12] **G. ACHAZ.** « Introduction a la coalescence », Cours introductif février 2009
- [13] **G.B. WALLIS.** « One dimensional two phase flow », edition McGraw-hill 1969.

- [14] **G. F. HEWITT**. « Void fraction gas- liquid flow, multiphase flows, Electronic data center, 2005.
- [15] **G. HARRIS** « The theory of the air lift pumps » Professor of Engineering in the School of Mines of the University of Missouri 1893.
- [16] **G. KIMMERLIN**. « Gaz naturel », technique de l'ingénieur, BE 8 555.
- [17] **G. LAVERGNE, P. BERTHOUMIEU**. « Modélisation des écoulements diphasique a phase dispersée, 'application aux systèmes propulsifs' », congrès français en Mécanique, 03-07 septembre 2001.
- [18] **G. NDONGA, J. D'ALOIA, K. LILLIS, Z.O. GEPHARDT**. « Air lift technology models for aquaculture applications with a focus on Latin American », Department of Chemical Engineering Rowan University, Glassboro, NJ. June 2009.
- [19] **J.B. SIDNEY**. « Air lift history » Article, Louisiana State University. 2005
- [20] **J.M DELHAYE**. « Les écoulements diphasiques » DEA. Transferts thermiques et combustion, Option thermique, Ecole centrale des arts et manufactures, 1986-1987.
- [21] **J.P. BONNET**. « Phénomènes de transport dans les mousses métalliques : approche expérimentale des écoulements monophasiques et liquide-gaz » Thèse doctorat, Université de Provence Aix-Marseille, Spécialité Mécanique Energétique. Novembre 2007.
- [22] **K. AkiKa, S. FORTAS**. « modélisation des écoulements diphasiques dans une conduite cylindrique », Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, département hydraulique, promotion 1997.
- [23] **M. BENNAJEH**. « Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation en réacteur air lift », l'institut nationale de Toulouse, département de génie de procédés et de l'environnement, 07-12-2007.
- [24] **M. ISHII**. « Thermo-fluid dynamic theory of two phase flow », edition Enrolls 1975.
- [25] **M. LIRATNIA**. « Etude d'un écoulement diphasique » Mémoire de fin d'études, Ecole nationale polytechnique (ENP) d'Alger, département hydraulique, promotion 1991.
- [26] **A.BARGIELA2, B. BOGDAN1**. « Neural networks based decision support in presence of uncertainties », 1999.
- [27] **P.L. FRAENKEL**. « Les machines élévatoires » Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, 1994.
- [28] **P.R. KHLOPENKOV**. « Air-lift design theory » Springer link .October 1970, UDC 622.276.52.002.

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

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

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

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

Abstract

An air lift pump is a device used to raise the liquid or slurries from a well or vessels through a vertical pipe, partially submerged in the liquid, by means of compressed air introduced into the pipe near the lower end. The theory and principle of air lift pumps were described in detail. The main advantage of the air lift pump is that there are no mechanical below-ground components, so it is essentially simple and reliable and can easily handle sandy or gritty water. [Air lift pumps are used in a very wide range of applications, because of their simple construction, cost effective maintenance, easy performance and high reliability. The two main disadvantages of the air lift pump are low water delivery height and low efficiency. Numerous theoretical as well as experimental studies have been published related to the interpretation and analysis of air lift pump performance. Most of these studies were concerned with the analysis of design parameters and operational parameters and the performance of air lift pumps. In authors studied design parameters such as riser diameter and air injector design. The operational parameters; such as submergence ratio, air injection conditions, and nature of solid phase, which required to be lifted were studied. In authors studied the performance of the air lift pump for various values of submergence ratio. In authors showed that the capacity and efficiency of the air lift pump are function of air mass flow rate, submergence ratio and the riser pipe length. The best efficiency ranges are found to be in slug and slug-churn flow regimes.

Key words: début d'air ,début liquid,air lift.

Résumé

Une pompe d'aspiration d'air est un dispositif utilisé pour soulever le liquide ou les boues d'un puits ou de vaisseaux par un tuyau vertical, partiellement immergé dans le liquide, au moyen d'air comprimé introduit dans le tuyau près de l'extrémité inférieure. La théorie et le principe des pompes d'aspiration d'air ont été décrits en détail. Le principal avantage de la pompe de levage à air réside dans le fait qu'il n'y a pas de composants mécaniques souterrains, elle est donc essentiellement simple et fiable et peut facilement manipuler de l'eau sableuse ou sablonneuse. Les pompes pneumatiques sont utilisées dans une très large gamme d'applications, en raison de leur construction simple, de leur maintenance économique, de leur performance simple et de leur grande fiabilité. Les deux principaux inconvénients de la pompe d'aspiration sont la faible hauteur d'alimentation en eau et le faible rendement. [De nombreuses études théoriques et expérimentales ont été publiées sur l'interprétation et l'analyse des performances des pompes d'aspiration. La plupart de ces études portaient sur l'analyse des paramètres de conception et des paramètres opérationnels sur les performances des pompes à air. Dans les auteurs ont étudié des paramètres de conception tels que le diamètre de la colonne montante et la conception de l'injecteur d'air. Les paramètres opérationnels; tels que le taux de submersion, les conditions d'injection d'air et la nature de la phase solide à soulever ont été étudiés dans [8]. Dans [9], les auteurs ont étudié les performances de la pompe d'aspiration pour différentes valeurs du rapport de submersion. Dans [10], les auteurs ont montré que la capacité et l'efficacité de la pompe d'aspiration d'air sont fonction du débit massique d'air, du taux de submersion et de la longueur de la colonne montante. Les meilleures gammes d'efficacité se situent dans les régimes d'écoulement de bouchons et de barattes. Dans cette étude, les performances de la pompe d'aspiration d'air ont été étudiées avec différentes gaines d'air qui sont utilisées pour introduire l'air dans la pompe.

المخلص

مضخة شفط الهواء هي جهاز يستخدم لرفع السائل أو الحماة من بئر أو وعاء من خلال أنبوب رأسي ، مغمور جزئياً في السائل ، عن طريق إدخال هواء مضغوط في الأنبوب بالقرب من الطرف السفلي، ثم وصف نظرية ومبدأ مضخات شفط الهواء بالتفصيل في الميزة الرئيسية لمضخة رفع الهواء هي عدم وجود مكونات ميكانيكية تحت الأرض، فهي لذلك فهي بسيطة وموثوقة بشكل أساسي ويمكنها بسهولة التعامل مع المياه الرملية أو الرملية، وتستخدم المضخات الهوائية في مجموعة واسعة جداً من التطبيقات ، نظراً لبنيتها البسيطة ، والصيانة الاقتصادية ، والأداء البسيط والموثوقية العالية العيبان الرئيسيان لمضخة الشفط هما انخفاض رأس إمداد المياه وانخفاض الكفاءة [تم نشر العديد من الدراسات النظرية والتجريبية حول التفسير n وتحليل أداء مضخات الشفط. ركزت معظم هذه الدراسات على تحليل معايير التصميم والمعايير التشغيلية لأداء مضخات الهواء. درس المؤلفون معلمات التصميم مثل قطر الناهض وتصميم حاقن الهواء. بارامترات التشغيل مثل معدل الغمر وظروف حقن الهواء وطبيعة المرحلة الصلبة المراد رفعها تمت دراستها في [8]. في [9] ، درس المؤلفون أداء مضخة الشفط لقيم مختلفة لنسبة الغمر. في [10] ، أظهر المؤلفون أن قدرة وكفاءة مضخة شفط الهواء تعتمد على معدل تدفق كتلة الهواء ، ومعدل الغمر وطول الرافعة. تكمن أفضل نطاقات الكفاءة في أنظمة تدفق المقابس والمخضبات في هذه الدراسة ، تم فحص أداء مضخة شفط الهواء مع قنوات الهواء المختلفة التي تستخدم لإدخال الهواء. الهواء في المضخة.