

77 F
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

3/87

Lex

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLe NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT : GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Etat

SUJET

**Etude d'un Ecoulement
Diphasique (Air-Eau) à Travers
une Conduite Verticale**

Proposé par :

Mr METREVELI V.

Etudié par :

M. BELABBES

M. BOUHALI

Dirigé par :

Mrs METREVELI V.

MESSAHLI

PROMOTION : JANVIER 1987

E.N.P. 10, Avenue Hacén Badi - EL-HARRACH — ALGER

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHÈQUE المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Etat

SUJET

**Etude d'un Ecoulement
Diphase (Air-Eau) à Travers
une Conduite Verticale**

Proposé par :

Mr METREVELI V.

Etudié par :

M. BELABBES

M. BOUHALI

Dirigé par :

Mrs METREVELI V.

MESSAHLI

PROMOTION : JANVIER 1987

E.N.P. 10, Avenue Hacen Badi - EL-HARRACH — ALGER

Ministère de l'enseignement supérieur

وزارة التعليم العالي

École nationale polytechnique: المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Département: HYDRAULIQUE

مهلعة الر

Promoteur: M^{rs}: Metreveli-V / Messahli-R

وجه: ص

Élève ingénieur: BELABBES Mohamed. لميز مهندس: بلعباس محمد

BOUHALI Mebarek

بومالي مبارك

الموضوع: دراسة لجران مغلظ (هواء - ماء) خلال أنبوب عمودي

الملخص: هذه الأهمية تحتوي على دراسة نظرية لجران صاعد كليلط ساثلان (هواء - ماء) في أنبوب عمودي والتشكلات في نظرية الري لأنبوب

Sujet: étude d'un écoulement diphasique (AIR. EAU) à travers une conduite verticale:

Resumé: la présente thèse comporte une étude d'un écoulement ascendant du mélange de deux fluides non réactifs (air. eau) dans une conduite verticale et le dimensionnement du point de vue hydraulique de la conduite d'air. lift.

Subject: study of a rising (air-water) through a vertical water pipe conduit

Abstract: the present thesis contents a théoric study of a rising flow a mixed liquide non reditif (air-water) in a vertical water pipe conduit and the size to the hydrolic of an air

Remerciement:

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur M^E METREVELI.V et notre copromoteur M^E MESSAHLI.R pour leurs conseils fructueux

Nos remerciements à tous professeurs et assistants qui ont rempli la noble tâche de nous former ainsi qu'à notre chef de département M^E ABDERRAHIM .D

Nous tenons aussi à remercier vivement tous ceux qui ont contribué par leur aide à la réalisation de ce projet.

DEDICACES

Je dedie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance

- A mon père et ma mère pour leur sacrifice et soutien moral à mon égard
- A mes sœurs
- A tous mes amis
- A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près pour l'élaboration de ce projet:

M. BELABBES.

Je dedie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

- A mes parents pour leur sacrifice à mon égard.
- A mes frères et sœurs
- A tous mes amis

M. BOUHALI

Plan d'étude

	Pages
1 Introduction	1
Envasement des barrages	5
en ALgerie	
2 f Luides compressibles	9
3 Explication theorique de	15
L'air-Lift.	
4 Elements constructifs	32
de la conduite d'alimentation	
5. Base de la theorie	64
de l'air-Lift.	

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE I

Introduction

I) Introduction.

explication d'objet d'étude air-lift, conduite verticale avec le mouvement du liquide diphasique. Partout là où on ne peut pas utiliser une station de pompage habituelle surtout dans le cas où on doit transporter les liquides agressifs (acides par exemple) ou bien le mélange solide-liquide tel que le phénomène de sédimentation dans les barrages ou le cas des forages de pétrole avec une hauteur trop importante (exemple des puits non éruptifs) là où la pression est faible devant la pression d'éruption.

Tous ces phénomènes nous conduisent à l'utilisation du système air-lift.

L'étude de cet écoulement est subdivisible en un nombre de parties non négligeable, chacune de ces parties étant elle-même suffisamment vaste. Ainsi, il existe l'étude des écoulements gaz-liquide, liquide-solide, liquide-liquide et solide-solide.

Notre étude est limitée exclusivement aux écoulements diphasiques gaz-liquide, on remarque là encore qu'une subdivision s'impose qui implique des différences fondamentales, ainsi l'écoulement peut être à un seul composant (eau-vapeur par exemple) ou à deux composants (air-eau par exemple)

Les conditions thermiques jouent aussi un rôle important, ainsi, les écoulements avec apports de chaleur ou retrait de chaleur ou adiabatique sont autant de cas différents.

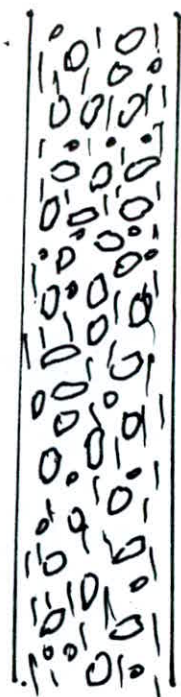
Il est de même pour les cas des écoulements verticaux ascendants ou descendants, toutes ces réflexions nous conduisent à caractériser chaque cas à étudier.

La connaissance du régime d'écoulement ou "configuration d'écoulement" sont aux écoulements diphasiques ces configurations sont souvent rencontrés, pour cela nous emprunterons les classifications dues à Alves. et Smisaret. La configuration d'écoulement est l'ensemble des paramètres qui décrivent la forme (structure et dimensions) de chacune des phases dans l'écoulement

Configuration d'écoulement vertical

quand on augmente la vitesse du gaz, on constate

- écoulements à bulles
- écoulements à bouchons
- écoulements à forte coalescence
- écoulements semi annulaire.
- écoulements annulaires
- écoulements dispersés.



écoulem.
-ent à
bulles



écoulement
à bouchons



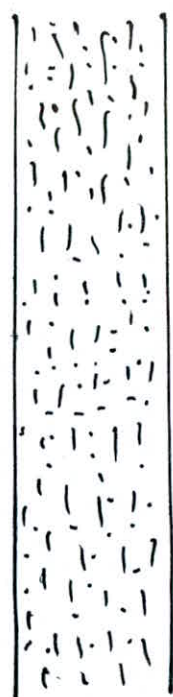
écoulement
à fork
coalescence



écoulement
semi-
annulaire



écoulement
annulaire



écoulement
brouillard
dispersé

Configuration d'écoulement vertical

I.1 Envasement des barrages en Algérie.

L'envasement des barrages en Algérie a pris de telles proportions dramatiques à tel point qu'il diminue la capacité des retenues de 50 à 80%.

L'espérance de vie des barrages-retenues est de l'ordre de 100 ans, mais d'après A. DEMMAK, la durée de vie d'un barrage réservoir est la période durant laquelle sa capacité est supérieure à 50% de la capacité initiale. Sachant que sur plusieurs barrages, le taux d'envasement est compris entre 43 et 84% on constate que la majorité des barrages-retenues Algériennes ont une durée de vie d'une trentaine d'années, il est cependant regrettable que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte l'abondance d'un aménagement hydraulique adéquat, particulièrement lorsque'il s'agit surtout d'un réservoir d'eau destiné à la population, ainsi qu'à l'industrie et l'agriculture.

L'envasement des retenues de barrages constitue sans doute la conséquence la plus dramatique du phénomène d'érosion dans les régions où l'eau est insuffisante et sa mauvaise répartition constitue autant

de facteur qui freinent le développement économique
d'un pays donné

Barrages	Bassins versants	Année de la mise en eau	capacité initiale $10^6 m^3$	capacité en 1967	capacité en 1977	envasement annuel $10^6 m^3$	Eaux d'envasement en % 1977
CHHRIB	CHLEF	1939	280	185	150	3,4	46%
FADDA	CHLEF	1932	228	139	109	2,6	56%
HAMIZ	cote Alge. rois	1935	21,5	12	17,3 après dragage	0,33	51% en 196 avant dragage.
FOUM. EL QUERZA	chof Melkhir	1950	47	35	27	0,74	43%
KSAB	HODNA	1940	11,6	3	29 après surelevation	0,27	84% en 1976 avant surelevation.

Tableau de l'envasement des retenues algériennes D'après A. Demmak (contribution a l'etude de l'erosion et des transports solides en ALGERIE , Université Pierre et Marie curie PARIS 1982

Dans les tableaux suivants, on cite quelques exemples qui sont sujets du phénomène d'envasements. Il est à noter que dans le tableau 1, on a relevé la capacité initiale d'exploitation et le volume de la vase, et pendant quelques années après, on constate alors un dépôt de vase qui s'est évolué à un taux de pourcentage sur la dernière colonne du tableau 1.

Dans le second tableau, on donne la quantité de la vase déposé dans les barrages de BOUHNIFIA et FERGOUG, on donne l'année de référence 1940 pour BOUHNIFIA et 1970 pour FERGOUG.

on remarque alors que le volume de vase est plus important dans le barrage de BOUHNIFIA qu'à celui de FERGOUG.

A) BOUHNIFIA

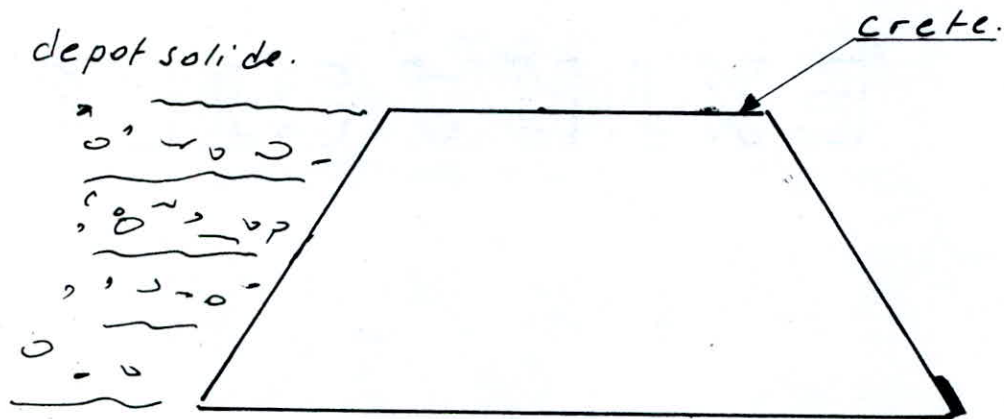
Année de mesure	Capacité en eau $V_L \cdot 10^6 m^3$	Volume solide déposé $\Sigma V_s \cdot 10^6 m^3$	dépot solide déposé $V_s \cdot 10^6 m^3$	Dépot solide unitaire $\bar{V}_s \cdot 10^6 m^3 / an.$
1940	73	0		
1955	62	11	1,5	0,15
1977	56	17	3,5	0,5
1985	56,64	21,36	4,36	0,38

B) FERGOUG

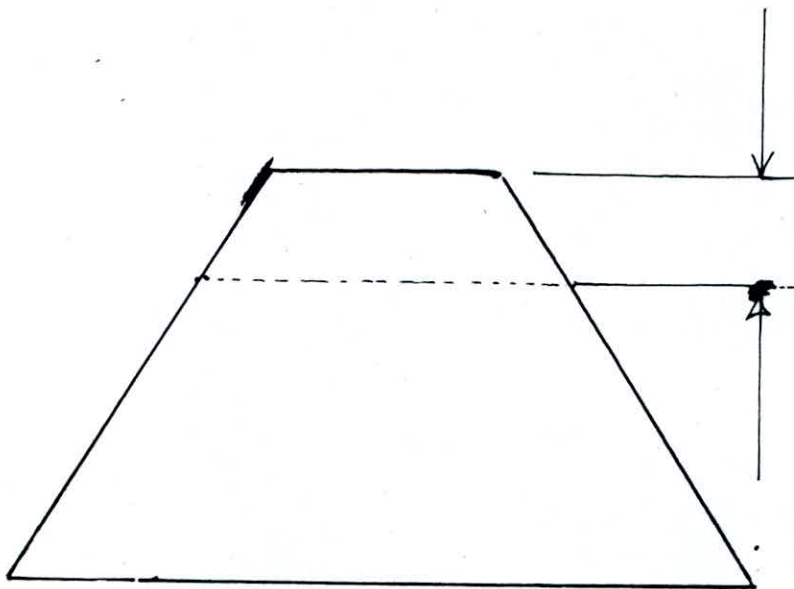
1970	17			
1973	12,5	4,43	4,43	1,48
1983	5,54	11,46	7,03	0,72
1985	4,10	12,9	14,4	0,72

Envasement quantitatif du barrage - retenue de BOUHNIFIA et FERGOUG.

I.3 Surélévation: l'opération consiste à faire une surélévation de la crête du barrage quand le dépôt solide atteint cette dernière.



Schema. a.)



Schema. b.)

I.4 Dragage: c'est l'extraction des roches meubles au dessous du niveau de mer

L'opération du dragage consiste à draguer la vase déposée au fond du bassin au moyen d'une pelle mécanique (engin très lourd qui repose sur un bateau).

cette opération est très coûteuse et conduit à des investissements très importants.

CHAPITRE II

fluides

compressibles

II) Equation de l'écoulement des fluides compressibles

La formule de Bernoulli est utilisée essentiellement pour les fluides incompressibles, sa validité se limite par conséquent soit au cas des liquides, soit au cas des gaz ou vapeurs envisagés seulement dans l'intervalle d'une gamme de pression assez étroite pour que les variations de volume puissent être considérées comme pratiquement négligeables.

Dans le cas où les écoulements s'effectuent avec des variations notables de volume, la formule de Bernoulli n'est plus utilisable et une généralisation est nécessaire. Pour cela, une nouvelle expression de l'équation de l'écoulement est établie par une méthode analogue à celle qui a été suivie pour les fluides incompressibles, il s'agit donc de considérer un gaz qui s'écoule dans un tuyau, de chercher la relation existant entre sa pression, sa vitesse d'écoulement et sa température, aucune condition d'incompressibilité n'étant plus imposée, la différence entre le comportement d'un fluide incompressible et celui d'un fluide compressible apparait si l'on considère que:

Lorsqu'on considère un liquide qui reçoit de l'extérieur une certaine quantité de chaleur, sa température s'en trouve augmentée, mais son volume spécifique n'augmente que d'une quantité extrêmement faible, les conditions de son écoulement demeurent pratiquement inchangées. Dans le cas des gaz, au contraire l'augmentation de volume importante qui résulte d'un rapport de chaleur modifié, les conditions de mouvement d'une façon qui ne peut plus être négligée.

Considérons un tube dans lequel, nous désignerons dans la section A_1, B_1 par

T_1 (°K) : température.

p_1 : pression

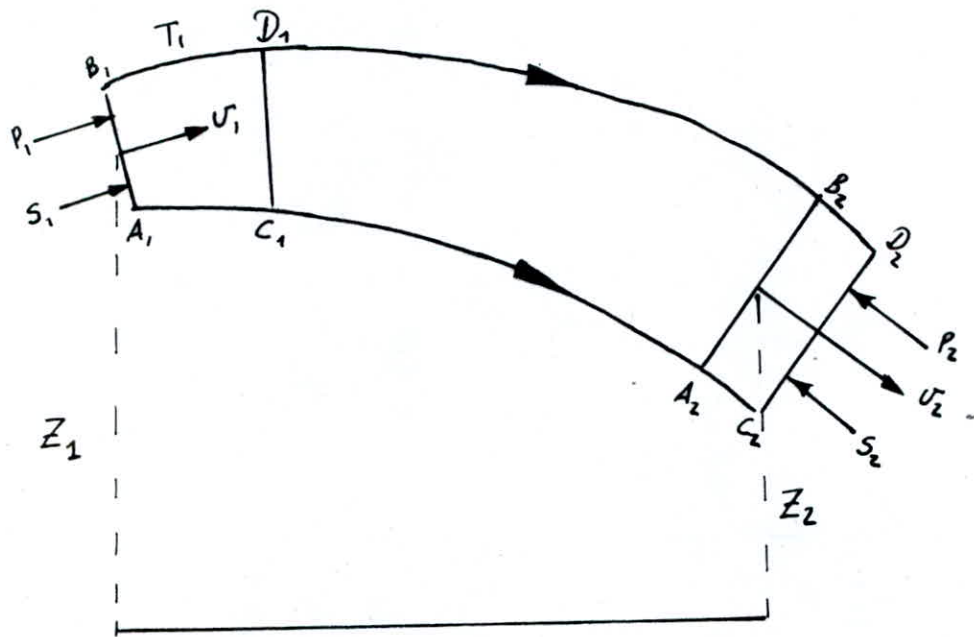
S_1 : section

ρ_1 : masse volumique du fluide

v_1 : vitesse moyenne

w : volume massique ($w_1 = 1/\rho_1$)

Z_1 : altitude au dessus d'un plan de référence et par les mêmes lettres effectués de l'indice 2 les grandeurs correspondantes dans la section A_2, B_2 .



Écoulement d'un fluide compressible

Designons par dm la masse du volume élémentaire A_1, B_1, C_1, D_1 et aussi celle du volume A_2, B_2, C_2, D_2 , en raison de l'équation de continuité qui s'exprime de la façon

suivante:

$$\frac{S_1 U_1}{w_1} = \frac{S_2 U_2}{w_2} = \text{constante}$$

On suppose tout d'abord que le fluide est parfait c'est à dire dépourvu de viscosité, les filets de gaz contigus au tube considéré n'exerçant donc sur la paroi latérale de celle-ci que des forces de pressions normales, le principe de la conservation de l'énergie est exprimé par la formule suivante:

$$\Delta U + \Delta Ec = Q + W$$

ou Q est la quantité de chaleur et W , le travail
 ΔU : variation de l'énergie interne
 ΔE_c : variation de l'énergie cinétique.

Travaux extérieurs:

Les travaux extérieurs subis par la masse dm de gaz qui constitue le système de cause; ces travaux comprennent:

a) Travail de la pesanteur

quand la masse dm de gaz se déplace de $A_1 B_1 C_1 D_1$ (altitude Z_1) à $A_2 B_2 C_2 D_2$ (altitude Z_2) la pesanteur effectue un travail

$$W_1 = (Z_1 - Z_2) dm$$

b) Travail des forces de pressions extérieures:

Les pressions extérieures qui s'exercent sur les parois latérales du tube sont normales à celle-ci (fluide parfait) par conséquent le travail de ces forces de pressions extérieures est nul au cours du déplacement de l'élément dm , il ne reste donc à considérer l'effet des pressions p_1 et p_2 s'exerçant sur les faces terminales du tube qui accomplissent un travail

$$W_2 = p_1 S_1 A_1 C_1 - p_2 S_2 A_2 C_2$$

II.1) Divers modes d'écoulement

on sait que les évolutions isothermique, adiabatique isobarique et isochorique peuvent être considérées comme des cas particuliers de l'évolution polytropique représentée par l'équation $PV^k = \text{constante}$, chacune de ces évolutions particulières correspondant à une valeur bien déterminée de la constante k

on sait que :

$k=1$: représente une évolution isothermique

$k=\gamma$: représente une évolution adiabatique

$k=0$: représente une évolution isobarique

$k=\infty$: représente une évolution isochorique.

II.2) Écoulement polytropique :

nous raisonnerons sur le cas polytropique général, dou nous passerons aux cas particuliers en donnant à k les valeurs convenables, nous savons que rapporté à l'unité de masse du gaz, le travail de détente fourni par le gaz dans l'évolution polytropique a pour expression

$$|W|_{1-2} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{k-1}$$

II.3) écoulement adiabatique

le cas de l'écoulement adiabatique, dans lequel

les échanges de chaleurs entre le gaz en écoulement et milieu extérieur sont nuls

La valeur convenable de k dans cet écoulement est λ

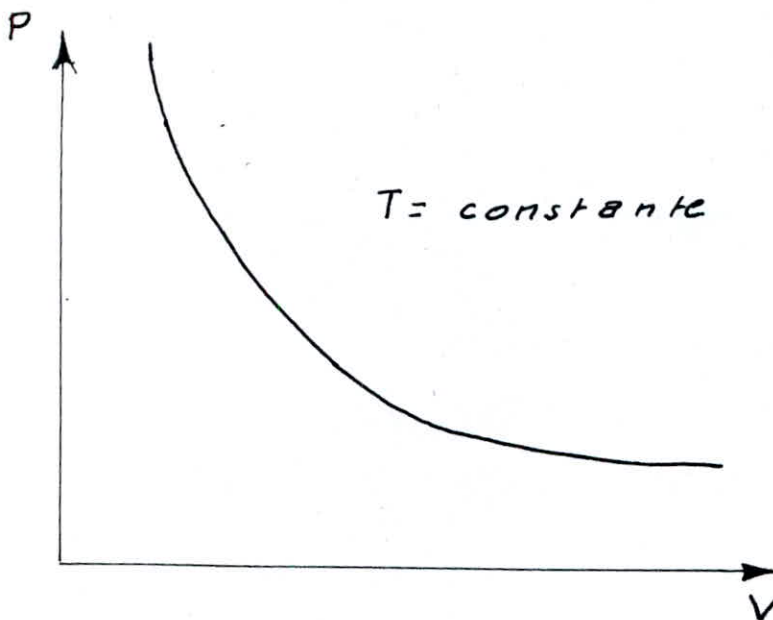
$$PV^\lambda = \text{constante}$$

II-4 Écoulement isothermique:

Dans le cas de l'écoulement isothermique dans lequel la température du gaz est maintenue pratiquement constante, l'écoulement isothermique se rencontre dans les conduites de transport de gaz

La valeur de k dans cet écoulement est un.

$$PV = \text{constante}$$



Écoulement isothermique dans le diagramme PV

CHAPITRE III

Explication :
théorique de
L'air lift

Notations principales

Q_L : débit de l'air-lift en m^3/s

Q_3 : débit de l'air-comprimé en m^3/s

H : hauteur d'élévation en m.

h : immersion absolue du mélangeur en (m).

d : immersion relative du mélangeur.

$q = \frac{Q_3}{Q_L}$: débit spécifique de l'air-comprimé

ρ_s : densité des grains solides

ρ_l : densité du liquide.

D : diamètre de la conduite d'alimentation (m)

D_3 : diamètre de la conduite de l'air comprimé (:

N_{ac} : puissance de l'air-comprimé

N_H : puissance qui fait monter le liquide.

N_R : résistance de l'air-lift

N_S : puissance de jet de sortie.

W_{im} : volume du mélange en m^3/s

U_m : vitesse moyenne en m/s

D_s : diamètre de la sortie de la conduite

q_{min} : quantité de l'air comprimé

C : coefficient de débit qui change en fonction de

Q_{ap} : volume de l'air comprimé perdu en m^3/h .

q_t : débit spécifique théorique de l'air

q : débit spécifique réel

η_i : rendement isothermique de l'air

η_c : rendement de la conduite

η_{ci} : rendement isothermique du compresseur

η_e : rendement de transmission.

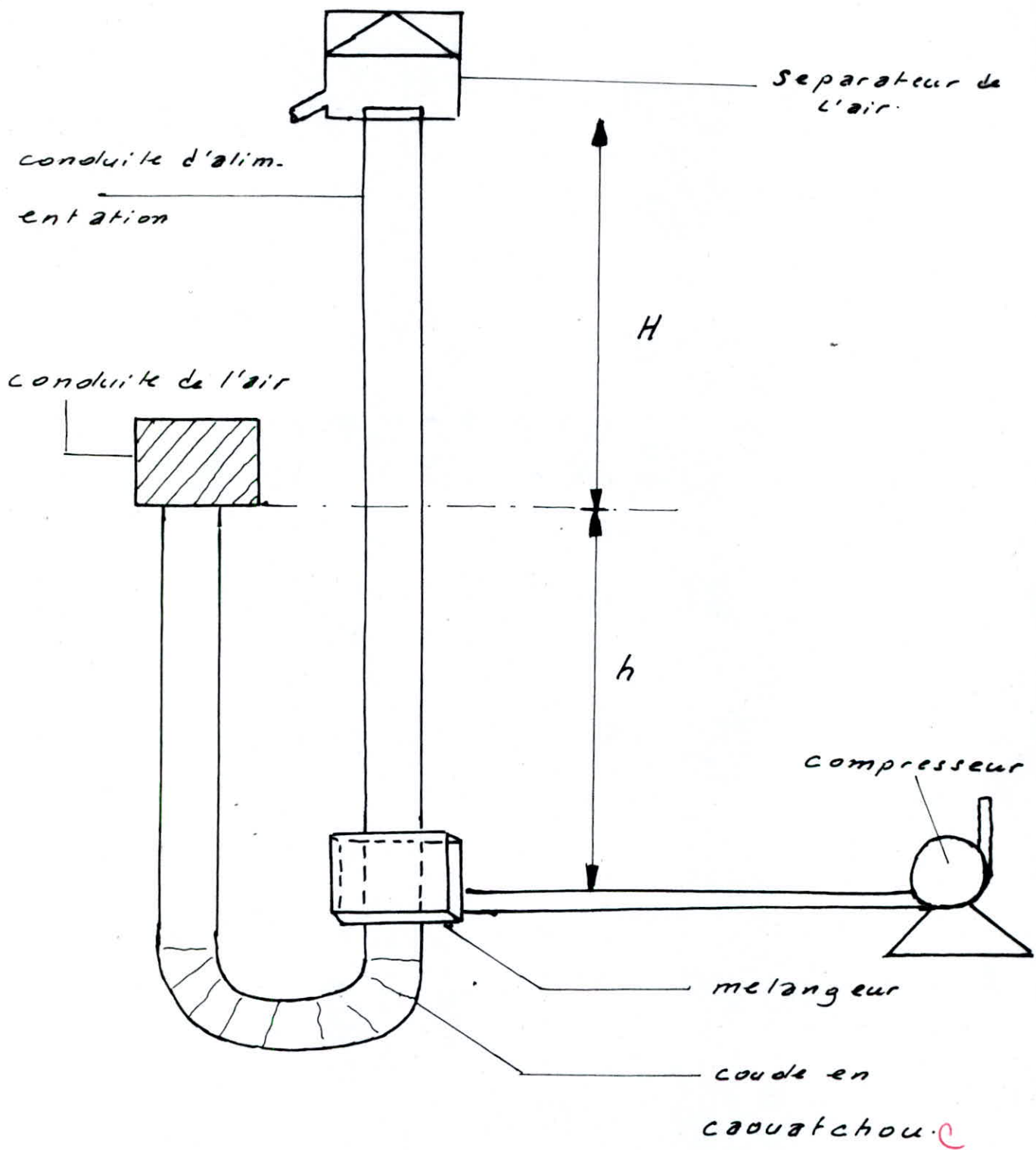
η_m : rendement du moteur

$d = \frac{h}{h+H}$: immersion relative du mélangeur

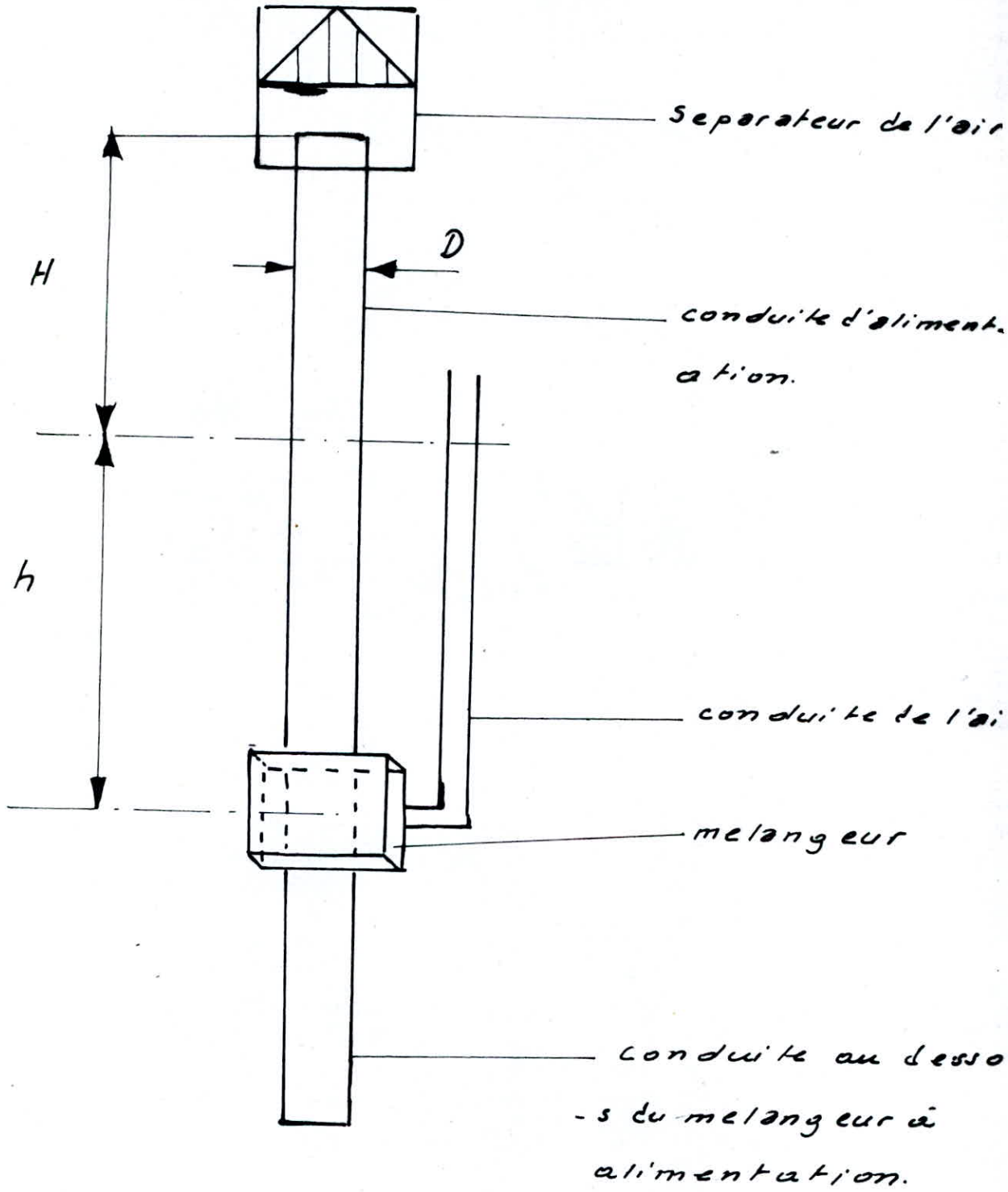
Ce coefficient sans dimension est défini comme le rapport de l'immersion absolue sur la somme de l'immersion absolue et la hauteur d'élévation. Ce rapport est toujours inférieur à l'unité et on prend la valeur maximale.

généralement "d" prend les valeurs suivantes.

(0,6; 0,5; 0,4; 0,1)



Schema d'un model Air-Lift
 utilise dans le Laboratoire.



schema d'un système
 Air-lift.

III) Equations générales de l'air-lift

L'augmentation des charges du liquide de l'air-lift sont obtenues à partir des travaux de l'air comprimé qui entre dans le mélangeur

- La puissance qui transmet de l'air comprimé au liquide ($N_{a.c}$)
- La puissance utilisée pour monter le liquide à une hauteur convenable (N_H)
- La résistance de l'air-lift (N_R)
- La puissance du jet de sortie (N_S)

$$N_{a.c} = N_H + N_R + N_S \quad (1)$$

Ainsi, on arrive à calculer chaque composante de l'équation (1)

a) Puissance qui transmet de l'air comprimé en utilisant le processus de détente isothermique d'après la formule.

$$N_{a.c} = 2300 P_{at} q Q \log \left(\frac{h}{10 P_{at}} + 1 \right) \quad (\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}) \quad (2)$$

P_{at} : Pression atmosphérique en kgf/m^2

q : quantité d'air sur un mètre cube de liquide.

Q_c : débit d'air-lift en (m^3/s)

h : hauteur d'immersion du mélangeur en (m)

b) puissance utilisée pour monter le liquide à une hauteur convenable.

$$N_H = \rho g H Q \quad (3)$$

ρ : masse volumique du liquide

g : accélération

H : hauteur d'élévation, cette hauteur peut être présentée par immersion relative du mélangeur

$$\alpha = \frac{h}{h+H} \quad \text{ou} \quad H = h \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \quad (5)$$

on remplace dans (3) l'expression de H , on aura

$$N_H = \rho g Q h \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \quad [\text{kgf} \cdot \text{m/s}] \quad (6)$$

c): puissance du jet de sortie:

Le mélange d'air comprimé et liquide qui sort de la conduite d'alimentation avec une vitesse, la puissance de sortie est déterminée par

$$N_S = J \frac{v^2}{2g} \quad (\text{kgf} \cdot \text{m/s}) \quad (7)$$

J : poids du mélange qui passe dans la section de sortie de la conduite d'alimentation par second

3

$U^2/2g$: charge de la vitesse dans la section de sortie

J est déterminé par la formule suivante.

$$J = \rho_e g Q_e + \rho_g g Q_g = Q_e [\rho_e g + \rho_g g q]$$

$$J = Q_e g [\rho_e + \rho_g q] \quad [Kgf/s] \quad [8]$$

ρ_g : masse volumique du gaz

d) vitesse de jet à la sortie.

$$U = \frac{4 Q^2}{\pi D^2} (1 + q) \quad (9)$$

D : diamètre de la conduite.

la puissance de jet de sortie sera égale

$$N_s = Q_e (\rho_e g + \rho_g g q) \frac{16 Q^2}{\pi^2 D^4 \cdot 2g} (1 + q)^2$$

ou

$$N_s = 0,083 \frac{Q^3}{D^4} (\rho_g g q + \rho_e g) (1 + 2q + q) \quad (10)$$

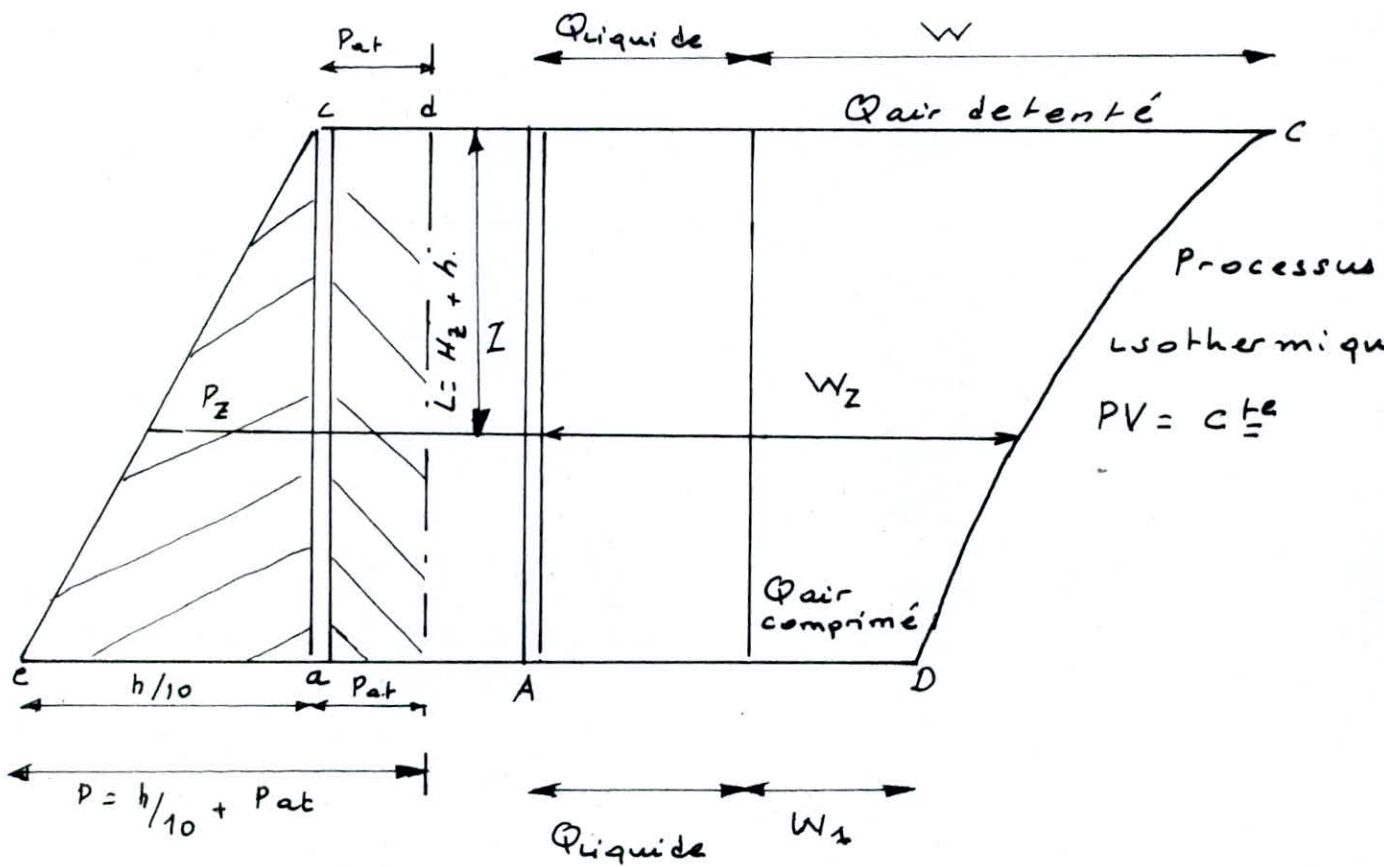
e) puissance du frottement dans la conduite.

d'élévation est déterminée par :

$$N_R = \lambda \frac{U_m^2}{2g} (L + L_e) J \quad [Kgf \cdot m/s] \quad (11)$$

U_m : vitesse moyenne du mélange

L_e : longueur équivalente.



(fig 1)

Dans le triangle (a, e, c) on a une pression fictive $P = \frac{h}{10} \cdot \rho g h$.

dans le triangle

"on rappellera que $1 \text{ atm} = 10 = \frac{h}{10}$ "

Dans le triangle (a, e, c) la pression varie linéairement.

Dans le rectangle (a, b, c, d) on a une pression réelle qui est la pression atmosphérique.

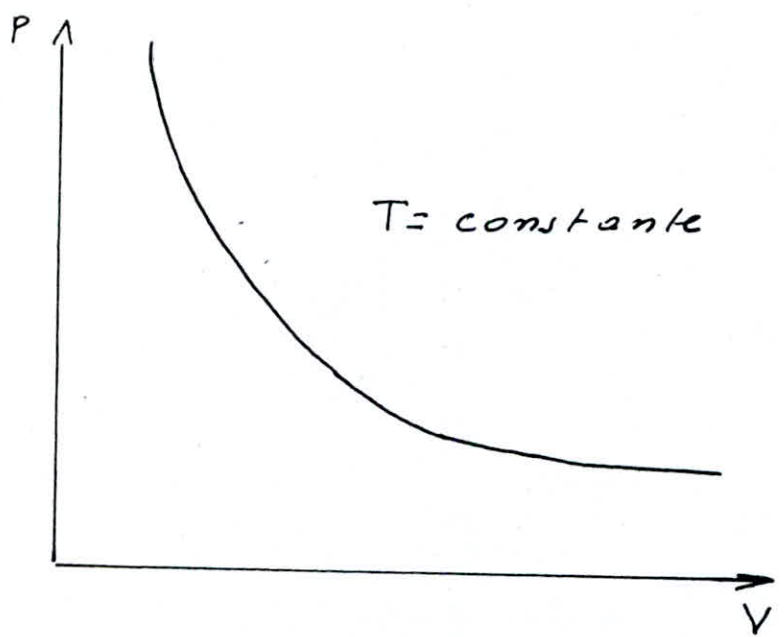
La pression totale est la somme de ces deux pressions

(51)

Dans le diagramme "ABCO", le débit du liquide reste constant, cependant, on remarque une variation du volume

dans le premier cas, on a un volume V_1 qui correspond à un débit d'air comprimé, le second est caractérisé par un volume V correspondant à un débit d'air détente. cette variation de volume est conçue par l'isotherme d'un gaz parfait dont l'équation d'état est $PV = cT$

$$PV = RT$$



isotherme d'un gaz parfait dans le diagramme PV

(6)

La vitesse moyenne dans la conduite d'alimentation est déterminée par

$$U_m = \frac{W_m}{S}$$

W_m : volume du mélange

S : section de la conduite

Le volume du mélange change en fonction de la hauteur z cause de la détente de l'air, sa valeur sa valeur sur une profondeur quelconque Z sera:

$$W_Z = Q_L + Q_g \cdot \frac{P_{at}}{P_Z} \quad (12)$$

P_Z : Pression dans la conduite d'alimentation sur une profondeur Z ; d'où

$$P_Z = \frac{h}{10} \cdot \frac{Z}{H+h} + P_{at} = \alpha \cdot \frac{Z}{10} + P_{at} \quad (13)$$

mettons dans l'équation (12) la valeur de P_Z on aura

$$W_Z = Q_L + Q_g \frac{P_{at}}{\alpha \frac{Z}{10} + P_{at}} \quad (14)$$

Le changement du volume du mélange $W_Z = f(L)$ est donné par la figure numero 1, le volume du mélange est déterminé comme la hauteur du rectangle

qui est égale à la surface ABCD (voir figure N° 2)

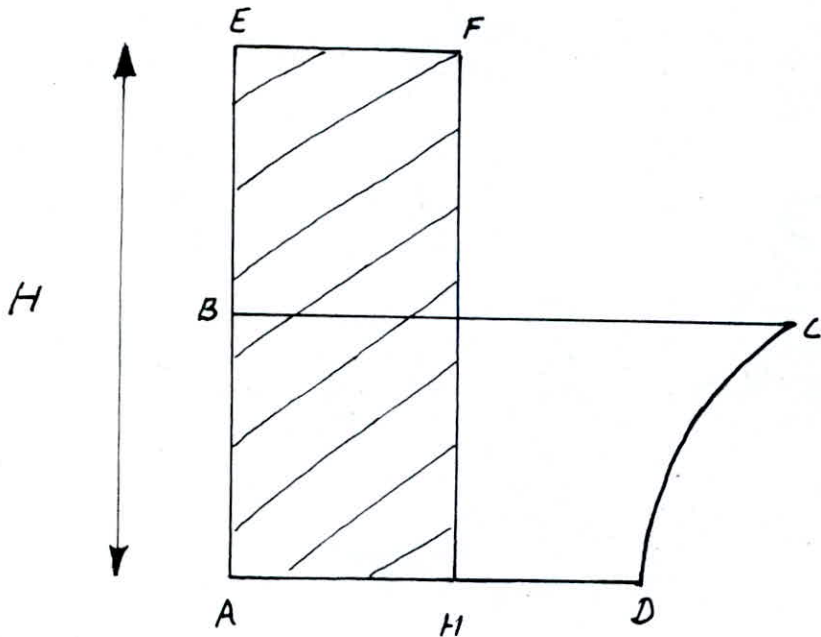


fig 2

Ainsi le volume du mélange sera déterminé par:

$$W_m = Q_l + \frac{S_{ABCD}}{L} = Q_l + \frac{S_{ABCD}}{H+h} \quad (15)$$

la surface ABCD est déterminée par l'intégrale

de l'expression $Q_g \frac{Pat}{d \frac{Z}{10} + Pat}$ ou bien.

$$S_{ABCD} = \int_0^L Q_g \frac{Pat}{d \frac{Z}{10} + Pat} dZ.$$

$$S_{ABCD} = \int_0^L Q_g \frac{Pat}{d \frac{z}{10} + Pat} dz = Q_g Pat \frac{10}{d} \ln \left(d \frac{z}{10} + Pat \right) \Big|_0^L$$

$$= 23 Q_g \frac{Pat}{d} \log \left(\frac{h}{10 Pat} + 1 \right) \quad (16)$$

Le volume moyen du mélange est déterminé par les relations 15 et 16

$$W_m = Q_e + 23 Q_g \frac{Pat}{d(H+h)} \log \left(\frac{h}{10 Pat} + 1 \right) \quad \text{ou}$$

$$W_m = Q_e + 23 Q_g \frac{Pat}{h} \log \left(\frac{h}{10 Pat} + 1 \right) \quad (17)$$

on sait que $Q_g = q \cdot Q_e$, alors,

$$W_m = Q_e \left[1 + 23 q \frac{Pat}{h} \log \left(\frac{h}{10 Pat} + 1 \right) \right]$$

d'où la vitesse moyenne.

$$U_m = \frac{4Q}{\pi D^2} \left[1 + 23 q \frac{Pat}{h} \log \left(\frac{h}{10 Pat} + 1 \right) \right] \quad (18)$$

la hauteur totale est désignée par L , elle est majorée de 10% qui tient compte des pertes d'énergie sur la résistance locale

$$L + L_e = 1,1 (H+h)$$

mettons dans la formule (11) la valeur correspondante dans (8) et la valeur $L + L_e$, on déterminera la puissance de perte hydraulique

$$N_e = 0,083 [\rho_e g + \rho_g g q] 1,1 (H+h) \left[1 + 23 \frac{q}{h} \log \left(\frac{h}{10 P_{at}} + 1 \right) \right]^2 \frac{Q^3}{D^5} \quad (20)$$

mettons toutes les formules représentées dans les formules (1); (2); (6); (20) en divisant par $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ et $g = 10 \text{ m/s}^2$ et négligeons $\frac{\rho_g}{\rho_e} = \frac{1,2}{1000}$ en prenant $\lambda = 0,02$, $P_{at} = 1$,

nous obtiendrons après simplification la formule du débit d'air - lift en m^3/h

$$Q_L = 0,125 D^{2,5} \sqrt{\frac{23 q \log \left(\frac{h}{10} + 1 \right) - H}{(q+1)^2 \frac{D^5}{D_s^4} + 0,022 (H+h) \left[1 + 23 \frac{q}{h} \log \left(\frac{h}{10} + 1 \right) \right]^2}} \quad (21)$$

ou

D_s : Diamètre de la sortie de la conduite
la formule (21) sera présentée par

$$Q_L = C \cdot D^{2,5} \quad (22)$$

C : coefficient de débit qui varie en fonction (h)

$$C = 0,125 \sqrt{\frac{23 q \log \left(\frac{h}{10} + 1 \right) - H}{(q+1)^2 \frac{D^5}{D_s^4} + 0,022 (H+h) \left[1 + 23 \frac{q}{h} \log \left(\frac{h}{10} + 1 \right) \right]^2}} \quad (23)$$

Dans cette formule, q le débit spécifique de l'air ou bien le débit de l'air comprimé pour faire monter

un mètre cube de liquide, les valeurs de "q" dépendent de plusieurs facteurs, mais en général, ils dépendent de la valeur H d'alimentation et de h.

Pour déterminer la liaison entre q, h, H, on introduit la notion de quantité de l'air pendant laquelle, le mélange monte de H alimentation avec le débit de l'air - lift qui est égal à zéro, donc de (21), on peut déterminer pour (q=0)

$$q_{\min} = \frac{H}{23 \log\left(\frac{h}{10} + 1\right)} \quad (25)$$

Dans cette formule, on peut déterminer q_{\min} pour différentes valeurs de h et H qui caractérisent les paramètres de d.

$$\alpha = \frac{h}{H + h} \quad (26)$$

pour $Q > 0$ on aura, $q = K q_{\min}$ ou $K = \frac{q}{q_{\min}}$

mettons dans (21) et (23) les valeurs de q transformé à l'aide de q_{\min} ou de l'air, en faisant la transformation mathématique

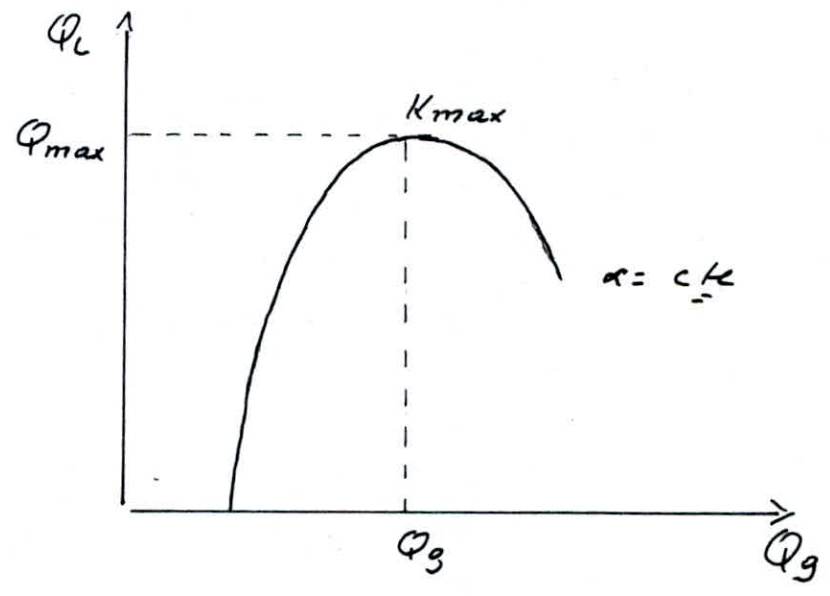
$$C = 0,125 \sqrt{\frac{h(K-1)\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)}{\left(K q_{\min} + 1\right)^2 \frac{D^5}{D_s^4} + 0,022 \frac{h}{\alpha} \left[1 + K\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)\right]^2}} \quad (27)$$

(11)

ou "c" est le coefficient du débit qui prend n'importe quel diamètre de la conduite, mais il change en fonction de α ; $c = f(\alpha)$, on fait une analyse du débit comme fonction de la quantité de l'air q_{min} , on peut voir que pour quelques valeurs de K , le débit devient maximal, l'augmentation suivant la quantité de l'air diminue le débit d'air. Ici, la valeur maximale de "K" est déterminée en faisant une transformation mathématique correspondante

$$K_{max} = 1 + \sqrt{1 + \frac{q_{min} + \frac{h}{\alpha} \left(\frac{2}{\alpha} - 1 \right) + 5}{50 q_{min} \frac{D^5}{D^4} + \frac{h}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2}} \quad (28)$$

En utilisant la formule (28), on peut déterminer la quantité rationnelle de l'air comprimé pendant laquelle on a un débit maximal.



Débit d'air comprimé

A cause de la vitesse relative de l'air comprimé par rapport à l'eau ou perte de la vitesse de l'air par glissement, il existe une vitesse relative de l'air comprimé où le gaz (air) ne change pas la vitesse, car l'espace libre de l'air comprimé est occupé par l'eau et le volume du mélange qui passe par la section considérée reste constante, le mouvement relatif de l'air augmente avec son débit et par conséquent diminue le rendement de l'air-lift. Déterminer la perte de l'air comprimé à cause du glissement relatif est un problème complexe, mais on peut donner des formules déjà élaborées d'après les expériences des différents auteurs, on suppose que pour un débit d'air comprimé, le mélange monte sur toute la hauteur du conduit mais le débit du mélange reste nul, dans ce cas l'eau se trouve par rapport au conduit en repos relatif et tout le gaz (air) glisse complètement, donc pour ce débit d'air, on peut le considérer comme une perte par glissement relatif.

le volume de gaz (air) perdu est égal à :

$$Q_{a.p} = 60 F V_0 \left(\frac{h}{10} + 1 \right) (1-\alpha) \quad (29)$$

$Q_{a.p}$: volume de l'air comprimé perdu en (m^3/min)

V_0 : vitesse relative de l'air comprimé

$$V_0 = 0,25 \div 0,3 \quad (m/s)$$

F : section du conduit d'alimentation

h : profondeur d'immersion du mélangeur

α : profondeur relative du mélangeur

on remplace dans l'équation (29) on obtient

$$Q_{ap} = 0,085 D^2 \left(\frac{h}{10} + 1 \right) (1-\alpha) \quad (30)$$

avec $F = \frac{\pi D^2}{4}$; dans la formule (30) ; Q_{ap} est en m^3/h .

le débit spécifique théorique de l'air est déterminé par

$$q_L = \frac{Q_g}{Q_L} = K q_{min} + \frac{Q_{ap}}{Q_L}$$

ou

$$q_L = K q_{min} + \frac{0,085 \left(\frac{h}{10} + 1 \right) (1-\alpha)}{C D^{0,5}} \quad (31)$$

C : coefficient du débit d'air lift qui peut être déterminé par la formule (22) et formule (27)

(14)

K : coefficient de détrit de l'air comprimé

$$K = 1,4 \div 1,8$$

Q_c : débit de l'air lift

D : diamètre moyen du conduit d'alimentation

h : profondeur d'immersion du mélangeur

d : profondeur relative du mélangeur

Le détrit spécifique réel est plus grand que le détrit spécifique théorique à cause des pertes de l'air comprimé dans la conduite de l'air

$$q_{\text{real}} = a q_t \quad (32)$$

a : coefficient de perte qui tient compte des pertes de l'air

$$a = 1,05 \div 1,1$$

Rendement de l'air-lift

Le rendement isothermique de l'air-lift est déterminé à partir de

$$\eta_i = \frac{L_u}{L_i} = \frac{Q_e h \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)}{60.23 \cdot Q_g q_c \log\left(\frac{h}{10} + 1\right)} \quad (33)$$

L_u : travail fourni (utile) pour monter l'eau

L_i : travail fourni par l'air comprimé par détente isothermique

de la formule (25), on détermine "h" après la transformation de la formule précédente par substitution de "h" on obtient:

$$\eta_i = \frac{q_{min}}{q_{min} K + \frac{0,085 \left(\frac{h}{10} + 1\right) (1-\alpha)}{C D^{0,5}}} \quad (34)$$

Le rendement total avec les pertes d'énergie dans le compresseur est déterminé par:

$$\eta_a = \eta_i \eta_c \eta_{ci} \eta_m \eta_e \quad (35)$$

η_i : rendement isothermique

η_c : rendement de la conduite

$$\eta_c = 0,95 \div 0,97$$

η_{ci} : rendement isothermique du compresseur

$$\eta_{ci} = \eta_i \cdot \eta_{\text{mécanique}} = 0,75 \cdot 0,8 = 0,64$$

η_t : rendement de transmission

$$\eta_t = 0,94$$

η_m : rendement du moteur

$$\eta_m = 0,90$$

On peut déduire une valeur moyenne du rendement de l'air-lift qu'on écrira

$$\eta_a = 0,51 \cdot \eta_i \quad (36)$$

N	α	h(m)	H(m)	q _{min}	Q _c (m ³ /h)	C	q	Q _g (m ³ /h)	Q _{ap} (m ³ /min)	D(m)	D _s (m)	η	Da.c
1	0,4	70	105	5,05	4,48 · 10 ⁻⁴	0,1416	7,575	33,91 · 10 ⁻⁴	4,08 · 10 ⁻³	0,1	0,3	0,150	0,01
2	0,4	65	97,5	4,85	4,48 · 10 ⁻⁴	0,1416	7,26	32,52 · 10 ⁻⁴	3,82 · 10 ⁻³	0,1	0,3	0,150	0,01
3	0,4	60	90	4,63	4,48 · 10 ⁻⁴	0,1416	6,94	31,09 · 10 ⁻⁴	3,57 · 10 ⁻³	0,1	0,3	0,150	0,01
4	0,4	55	82,5	4,41	4,48 · 10 ⁻⁴	0,1416	6,61	29,61 · 10 ⁻⁴	3,31 · 10 ⁻³	0,1	0,3	0,151	0,01
5	0,4	50	75	4,19	4,48 · 10 ⁻⁴	0,1416	6,28	28,13 · 10 ⁻⁴	3,06 · 10 ⁻³	0,1	0,3	0,151	0,01
6	0,4	45	67,5	3,96	1,23 · 10 ⁻³	0,1411	5,94	7,3 · 10 ⁻³	6,31 · 10 ⁻³	0,15	0,45	0,182	0,02
7	0,4	40	60	3,73	1,23 · 10 ⁻³	0,1411	5,59	6,87 · 10 ⁻³	5,73 · 10 ⁻³	0,15	0,45	0,259	0,02
8	0,4	35	52,5	3,49	1,23 · 10 ⁻³	0,1411	5,23	6,43 · 10 ⁻³	5,16 · 10 ⁻³	0,15	0,45	0,259	0,01
9	0,4	30	45	3,24	1,23 · 10 ⁻³	0,1411	4,86	5,98 · 10 ⁻³	4,53 · 10 ⁻³	0,15	0,45	0,260	0,01
10	0,4	25	37,5	3,99	1,42 · 10 ⁻³	0,1408	4,48	16,14 · 10 ⁻³	4,51 · 10 ⁻³	0,159	0,477	0,271	0,01
11	0,4	20	30	2,73	1,42 · 10 ⁻³	0,1408	4,095	14,25 · 10 ⁻³	3,86 · 10 ⁻³	0,159	0,477	0,257	0,01

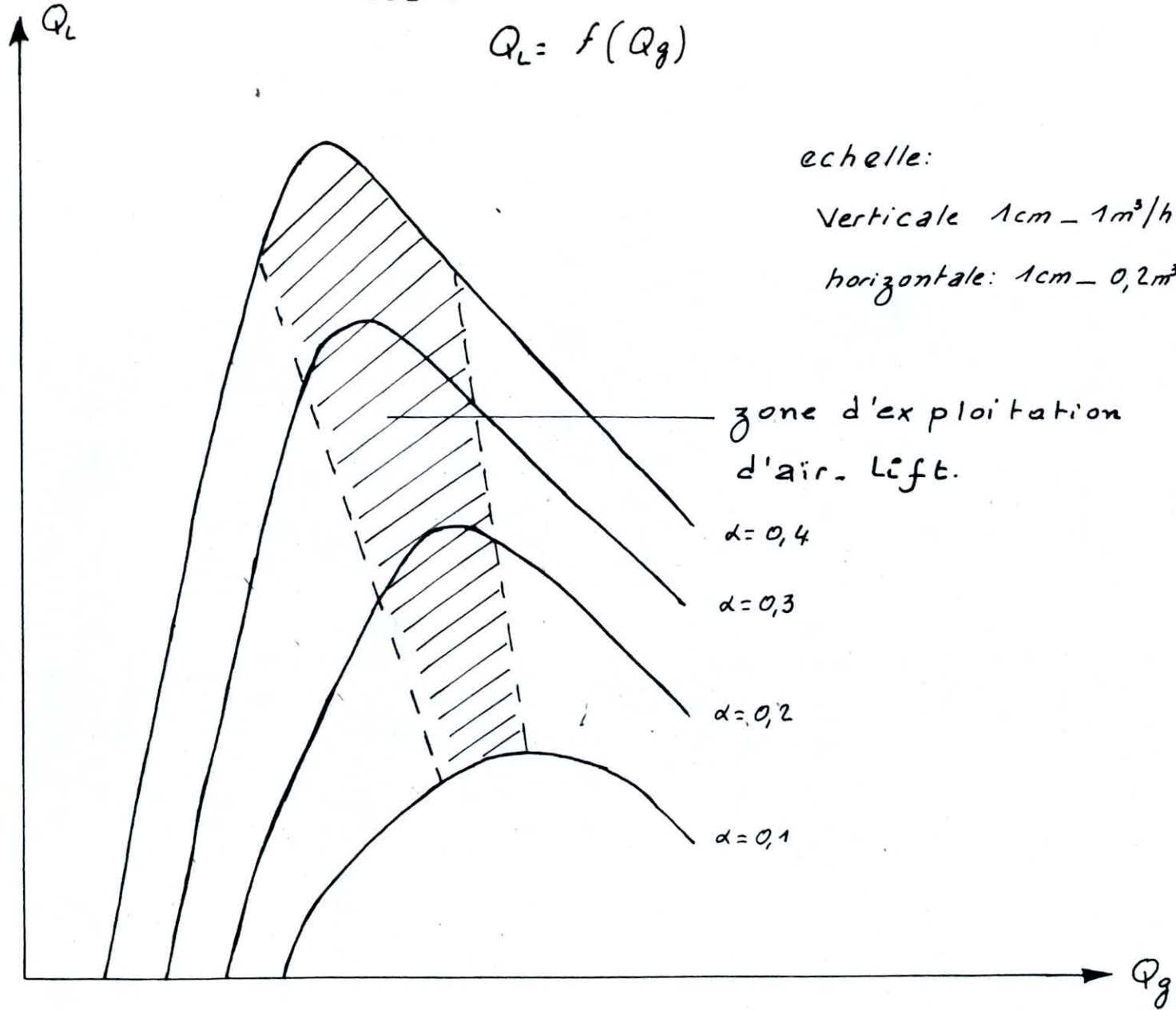
№	α	$h(m)$	$H(m)$	q_{min}	$Q_c(m^3/h)$	c	q	$Q_g(m^3/h)$	$Q_{ap}(m^3/min)$	$D(m)$	$Ds(m)$	η	$Da_{c,m}$
1	0,3	70	163,33	7,86	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,1107	11,79	$41,26 \cdot 10^{-4}$	$4,76 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,157	0,01
2	0,3	65	151,66	7,53	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,1107	11,29	$39,51 \cdot 10^{-4}$	$4,46 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,159	0,01
3	0,3	60	140	7,20	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,1107	10,8	$37,80 \cdot 10^{-4}$	$4,16 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,161	0,01
4	0,3	55	128,33	6,86	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,1107	10,29	$36,01 \cdot 10^{-4}$	$3,87 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,163	0,01
5	0,3	50	116,66	6,51	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,1107	9,76	$34,16 \cdot 10^{-4}$	$3,57 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,166	0,01
6	0,3	45	105	6,16	$9,63 \cdot 10^{-4}$	0,1105	9,24	$88,98 \cdot 10^{-4}$	$7,36 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,186	0,02
7	0,3	40	93,33	5,80	$9,63 \cdot 10^{-4}$	0,1105	8,7	$83,78 \cdot 10^{-4}$	$6,69 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,188	0,02
8	0,3	35	81,66	5,43	$9,63 \cdot 10^{-4}$	0,1105	8,14	$78,39 \cdot 10^{-4}$	$6,02 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,192	0,02
9	0,3	30	70	5,05	$9,63 \cdot 10^{-4}$	0,1105	7,57	$72,91 \cdot 10^{-4}$	$5,35 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,196	0,01
10	0,3	25	58,33	4,66	$1,11 \cdot 10^{-3}$	0,1101	6,99	$7,16 \cdot 10^{-3}$	$5,26 \cdot 10^{-3}$	0,153	0,477	0,202	0,01
11	0,3	20	46,66	4,25	$1,11 \cdot 10^{-3}$	0,1101	6,37	$7,07 \cdot 10^{-3}$	$4,52 \cdot 10^{-3}$	0,153	0,477	0,207	0,01

Nº	α	$h(m)$	$H(m)$	q_{min}	$Q_e(m^3/h)$	c	q	$Q_g(m^3/h)$	$Q_{op}(m^3/mig)$	$D(m)$	$D_s(m)$	η	$D_{a.c}$
1	0,2	70	280	13,48	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,075	20,22	$48,53 \cdot 10^{-4}$	$5,44 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,159	0,019
2	0,2	65	260	12,91	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,075	19,36	$46,46 \cdot 10^{-4}$	$5,10 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,161	0,019
3	0,2	60	240	12,34	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,075	18,51	$44,42 \cdot 10^{-4}$	$4,76 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,163	0,019
4	0,2	55	220	11,76	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,075	17,64	$42,33 \cdot 10^{-4}$	$4,42 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,165	0,019
5	0,2	50	200	11,17	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,075	16,75	$40,2 \cdot 10^{-4}$	$4,08 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,165	0,016
6	0,2	45	180	10,57	$6,62 \cdot 10^{-4}$	0,076	15,85	$104,92 \cdot 10^{-4}$	$2,41 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,188	0,024
7	0,2	40	160	9,95	$6,62 \cdot 10^{-4}$	0,076	14,99	$98,77 \cdot 10^{-4}$	$7,65 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,194	0,023
8	0,2	35	140	9,31	$6,62 \cdot 10^{-4}$	0,076	13,96	$92,41 \cdot 10^{-4}$	$6,88 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,195	0,022
9	0,2	30	120	8,66	$6,62 \cdot 10^{-4}$	0,076	12,93	$85,9 \cdot 10^{-4}$	$6,12 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,198	0,020
10	0,2	25	100	7,99	$7,66 \cdot 10^{-4}$	0,0766	11,98	$91,72 \cdot 10^{-4}$	$6,02 \cdot 10^{-3}$	0,159	0,477	0,205	0,020
11	0,2	20	80	7,29	$7,66 \cdot 10^{-4}$	0,0766	10,93	$83,76 \cdot 10^{-4}$	$5,16 \cdot 10^{-3}$	0,159	0,477	0,210	0,01

Nº	α	$h(m)$	$H(m)$	q_{min}	$Q_r (m^3/h)$	C	q	$Q_g (m^3/h)$	$Q_{op} (m^3/m)$	$D(m)$	$D_s(m)$	η	$D a - c$
1	0,1	70	630	30,33	$1,24 \cdot 10^{-4}$	0,0387	45,54	$56,41 \cdot 10^{-4}$	$6,12 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,161	0,02
2	0,1	65	585	29,06	$1,23 \cdot 10^{-4}$	0,0387	43,59	$53,61 \cdot 10^{-4}$	$5,73 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,163	0,02
3	0,1	60	540	27,78	$1,23 \cdot 10^{-4}$	0,0387	41,67	$51,25 \cdot 10^{-4}$	$5,35 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,165	0,01
4	0,1	55	495	26,47	$1,23 \cdot 10^{-4}$	0,0387	39,70	$48,83 \cdot 10^{-4}$	$4,97 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,168	0,01
5	0,1	50	450	25,14	$1,23 \cdot 10^{-4}$	0,0387	37,71	$46,32 \cdot 10^{-4}$	$4,59 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,3	0,170	0,01
6	0,1	45	405	23,78	$3,39 \cdot 10^{-4}$	0,0389	35,67	$120,67 \cdot 10^{-4}$	$9,46 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,190	0,02
7	0,1	40	360	22,39	$3,39 \cdot 10^{-4}$	0,0389	33,58	$113,83 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,193	0,02
8	0,1	35	315	20,96	$3,39 \cdot 10^{-4}$	0,0389	31,44	$100,58 \cdot 10^{-4}$	$7,74 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,196	0,02
9	0,1	30	270	19,49	$3,30 \cdot 10^{-4}$	0,0389	29,23	$99,1 \cdot 10^{-4}$	$6,88 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,45	0,200	0,02
10	0,1	25	225	17,98	$3,57 \cdot 10^{-4}$	0,0357	26,98	$96,28 \cdot 10^{-4}$	$6,77 \cdot 10^{-3}$	0,159	0,477	0,200	0,0
11	0,1	20	180	16,40	$3,57 \cdot 10^{-4}$	0,0357	24,60	$87,82 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	0,159	0,477	0,205	0,02

Courbe

$$Q_L = f(Q_g)$$



echelle:

verticale 1cm - 1m³/h

horizontale: 1cm - 0,2m³/min

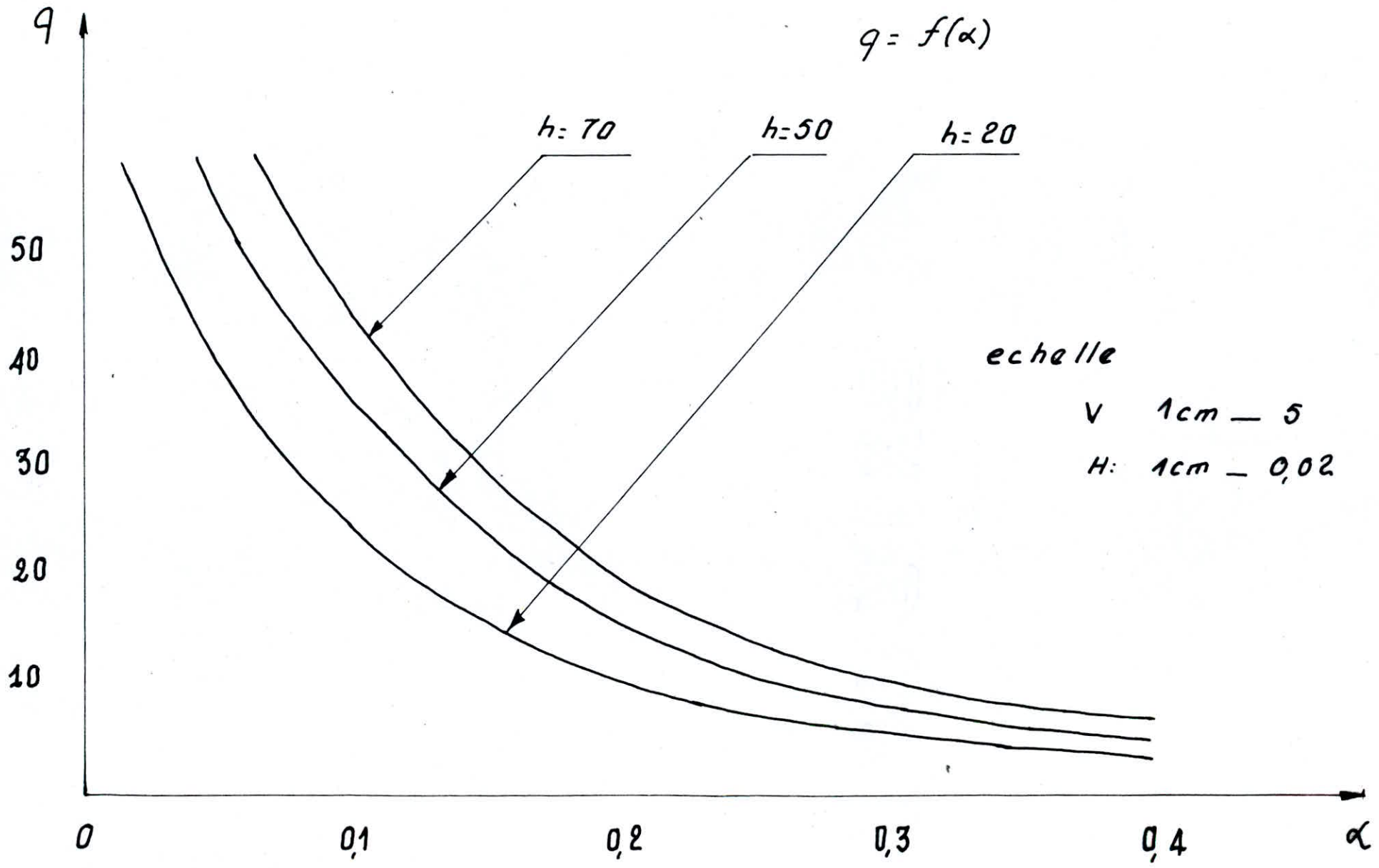
zone d'exploitation
d'air. Lift.

$\alpha = 0,4$

$\alpha = 0,3$

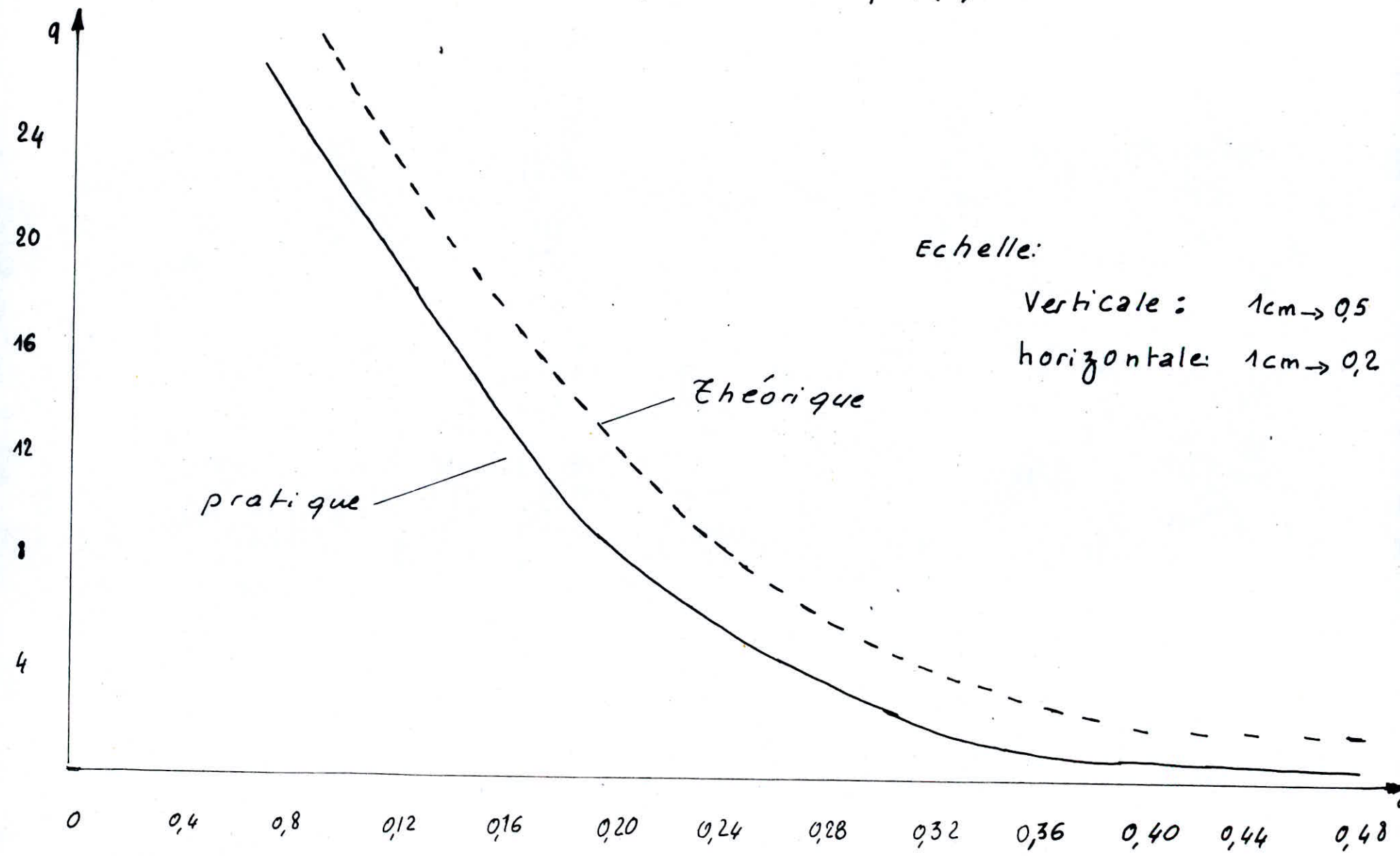
$\alpha = 0,2$

$\alpha = 0,1$



$Q(m^3/h)$	$H(m)$	$h(m)$	α	$D(m)$	q	$Q_z(m^3/min)$	q_{min}
300	30	55	0,64	0,1	2,56	12,83	1,60
250	45	30	0,40	0,1	3,24	13,5	3,24
200	85	55	0,39	0,15	7,29	24,23	4,54
100	130	55	0,29	0,15	6,95	11,48	6,95
70	120	70	0,36	0,15	5,77	6,73	5,77
50	140	50	0,26	0,159	7,82	6,57	7,82
30	170	50	0,22	0,159	15,19	7,59	9,49
20	80	65	0,44	0,159	4,19	1,39	3,97

Dependance $q = f(\alpha)$

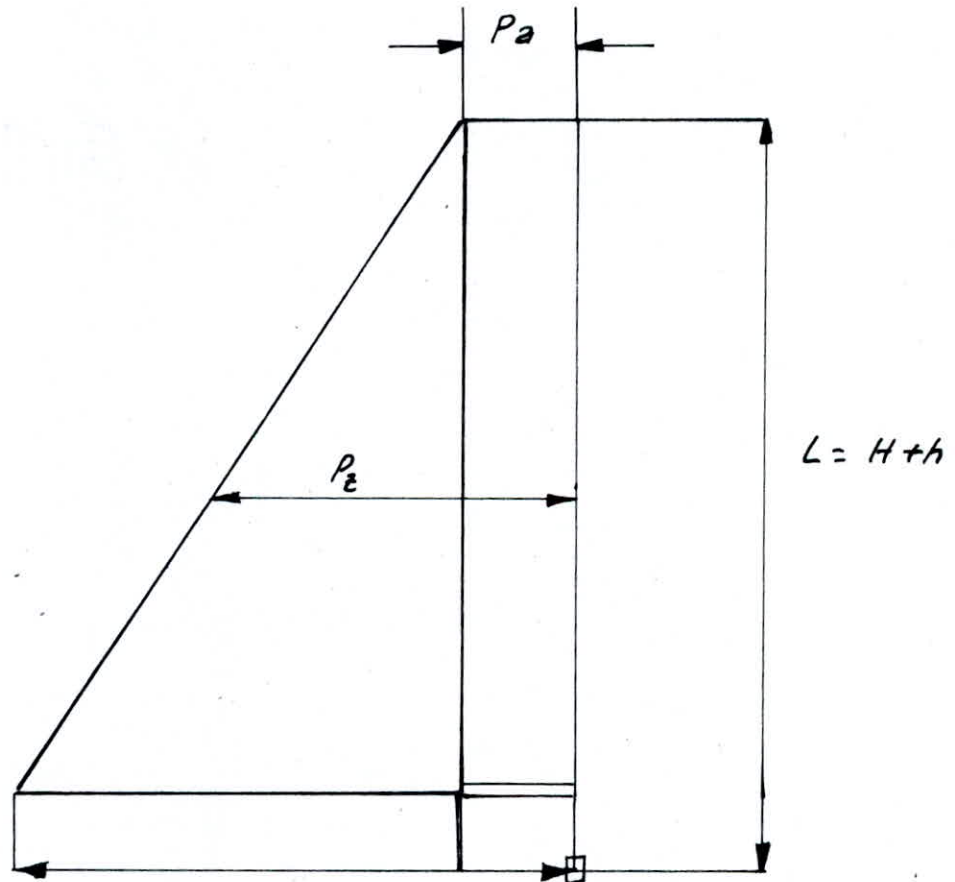


CHAPITRE IV

*Éléments constructifs
de la conduite
d'alimentation.*

Construction de conduite d'alimentation de l'air. Lift.

- a) La pression à l'intérieur de la conduite d'alimentation change proportionnellement à la hauteur, On peut construire l'épure de la pression sur la paroi de la conduite.



$$P = \frac{h}{10} + P_a$$

Sur une partie de la conduite se trouve du liquide et une pression qui agit et change d'après la loi

$$P_z = \frac{P}{H} \cdot Z \quad (48)$$

En utilisant la dépendance entre L et H à l'aide de h (hauteur d'immersion) et α (profondeur relative) en tenant compte de $P = h/10$, on obtient la formule pour la pression maximale.

$$P_{\max} = \frac{h}{10} (1 - \alpha) \quad (49)$$

⊕ Dans cette formule, on peut remarquer que la pression maximale de h et α et ne dépend pas de H . Si on utilise les compresseurs habituels, avec la pression de 8 atm, la profondeur maximale d'immersion du mélangeur sera de 70 m pour $\alpha = 0,6$ d'après la formule (49), $P_{\max} = 6,2$ atm, donc pour une conduite d'alimentation en acier, on peut utiliser des pressions jus qu'à 10 atm.

b) le diamètre moyen de la conduite d'air-lift

A cause de la dilatation de l'air comprimé, le volume du mélange avec la hauteur augmente, donc sur l'extrémité supérieure, la vitesse peut être très grande, ce qui diminue le rendement et le débit de l'air-lift.

NO

Pour une profondeur d'immersion très grande, "h" on recommande de faire une conduite d'air-lift échelonnée. Pour déterminer la vitesse de sortie qui est égale à 1,5 vitesse devant le mélangeur, pour cela, la section de sortie doit être environ trois fois plus grande que la section du mélangeur.

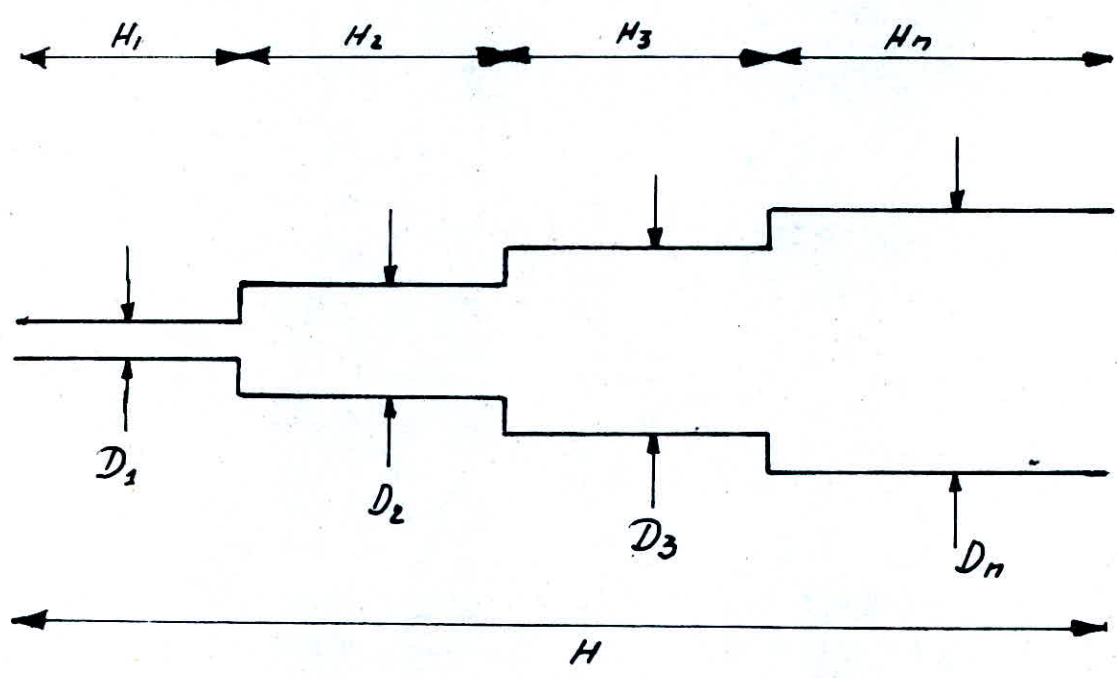
Pour l'Air-lift échelonné, tout le calcul se fait à partir du diamètre équivalent qui est déterminé par la formule suivante.

$$D_e = D_1 \sqrt[5]{\frac{\frac{1}{100H} \left[\frac{1}{9} + \frac{23}{h} \log \left(\frac{h}{10} + 1 \right) \right]^2}{\left[\frac{1}{h \left(H - \frac{H_1}{2} + 10H \right)} \right]^2 H_1 + \left[\frac{h}{h \left(H - H_1 - \frac{H_2}{2} + 10H \right)} \right]^2 \frac{H_2}{\left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5} + \left[\frac{1}{h \left[H - H_1 - \dots - \frac{H_n}{2} + 10H \right]} \right]^2 \frac{H_n}{\left(\frac{D_n}{D_1} \right)^2}}}$$

(50)

ou

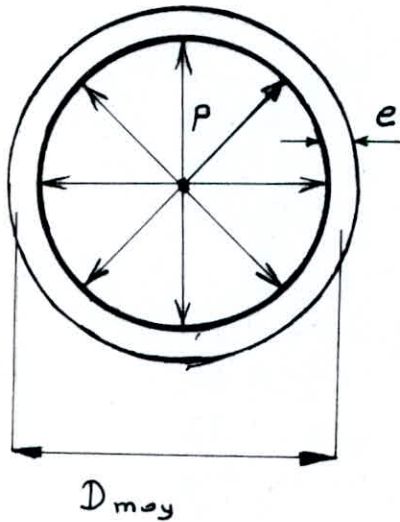
- D_1 : diamètre de la conduite devant le mélangeur
- H : Hauteur totale de la conduite
- D_n : diamètre de la conduite qui correspond à la hauteur H_n



conduite d'air. lift échelonnée

Determination de l'épaisseur de la Conduite

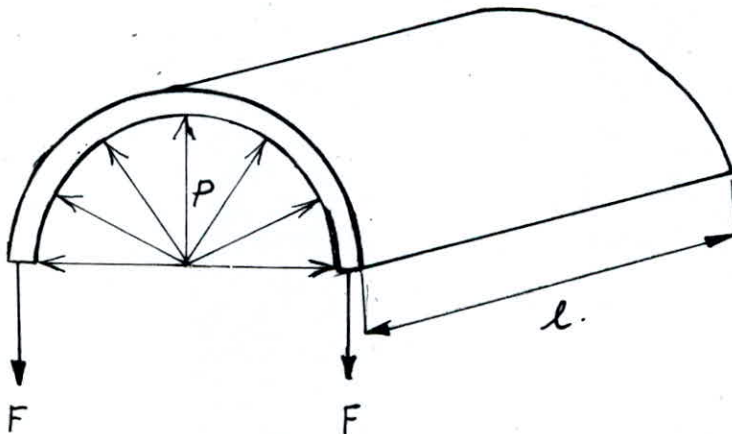
12



P : Pressions qui sont normales à la paroi de la conduite.
 e : épaisseur de la conduite.
 D_{moy} : diamètre moyen de la conduite.

$$2F = P \cdot D_{moy} \cdot l$$

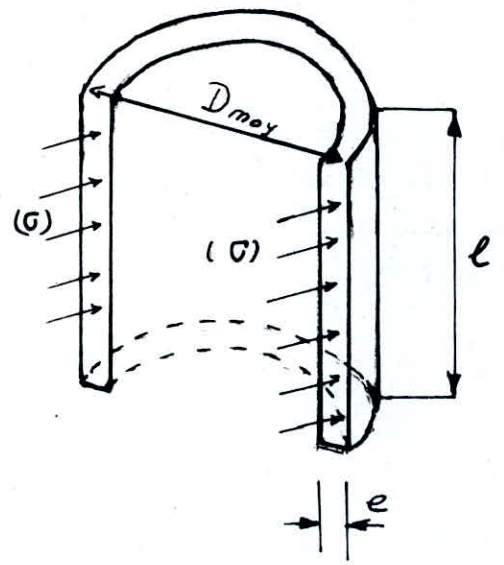
l : longueur de la conduite.



$$F = \frac{P \cdot D_m \cdot l}{2}$$

12/20

$[G]$: contrainte admissible de la conduite considérée

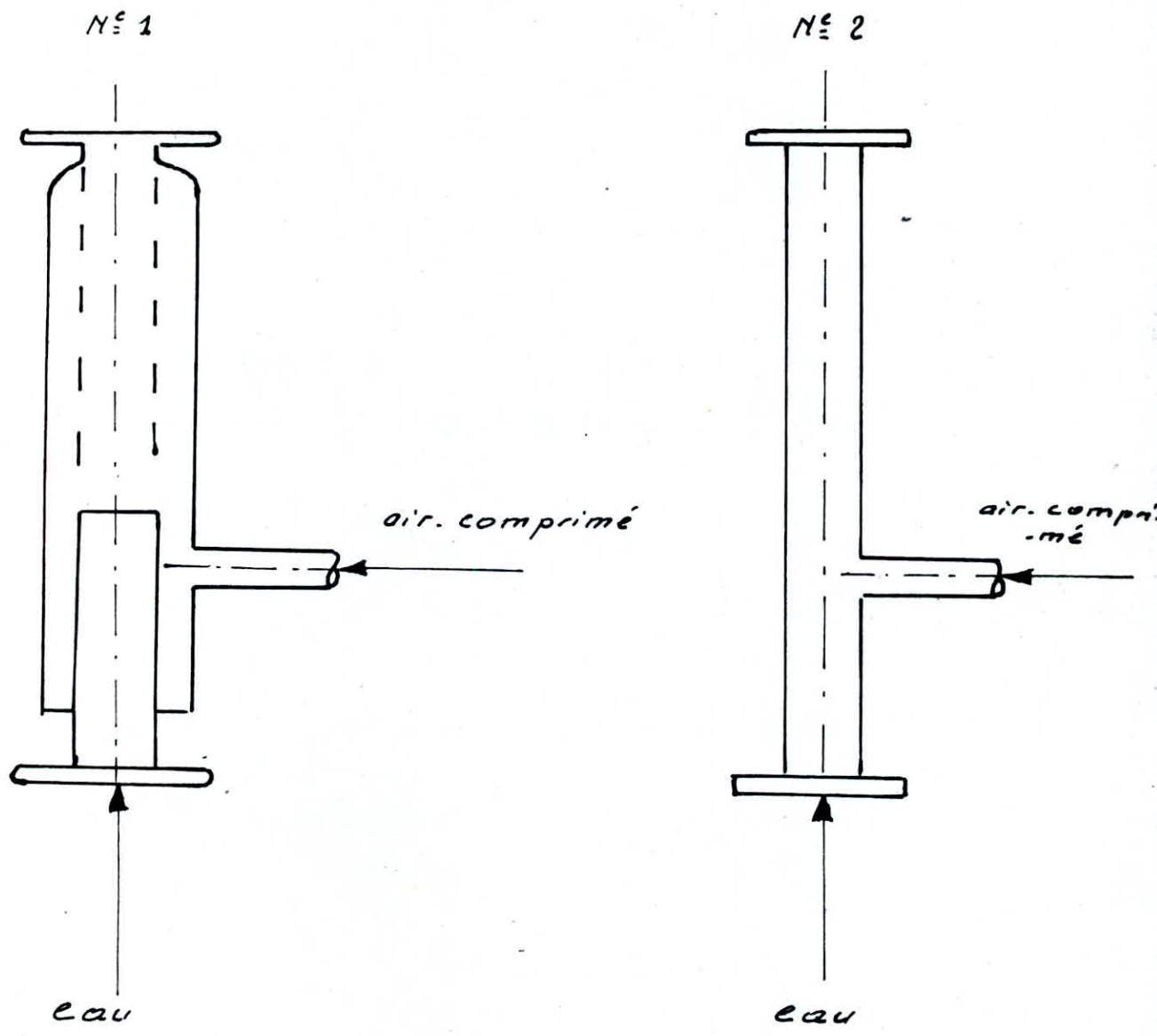


$$[\sigma] = \frac{F}{S} = \frac{F}{e \cdot l}$$

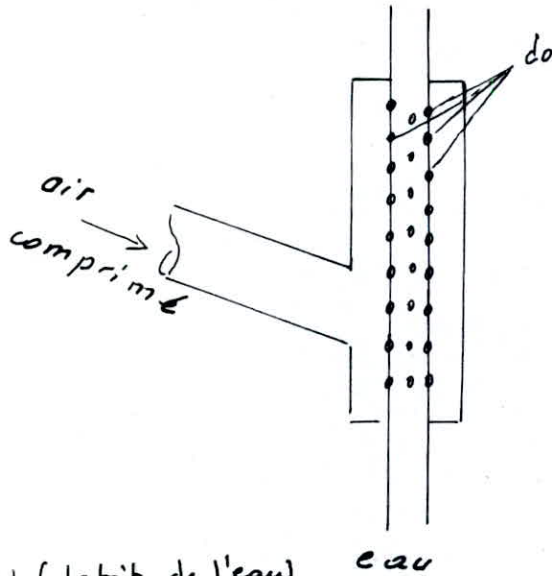
$$[\sigma] = \frac{p \cdot D_m}{2e}$$

$$e = f [[G]; p; D]$$

Construction du mélangeur



$d_o = 5 \div 10 \text{ mm}$; diamètres des pores qui se trouvent sur la conduite.



$$d_o = 5 - 10 \text{ mm}$$

$$\sum n d_w = 3 F_1$$

$$d_w = \frac{\pi d_o^2}{4}$$

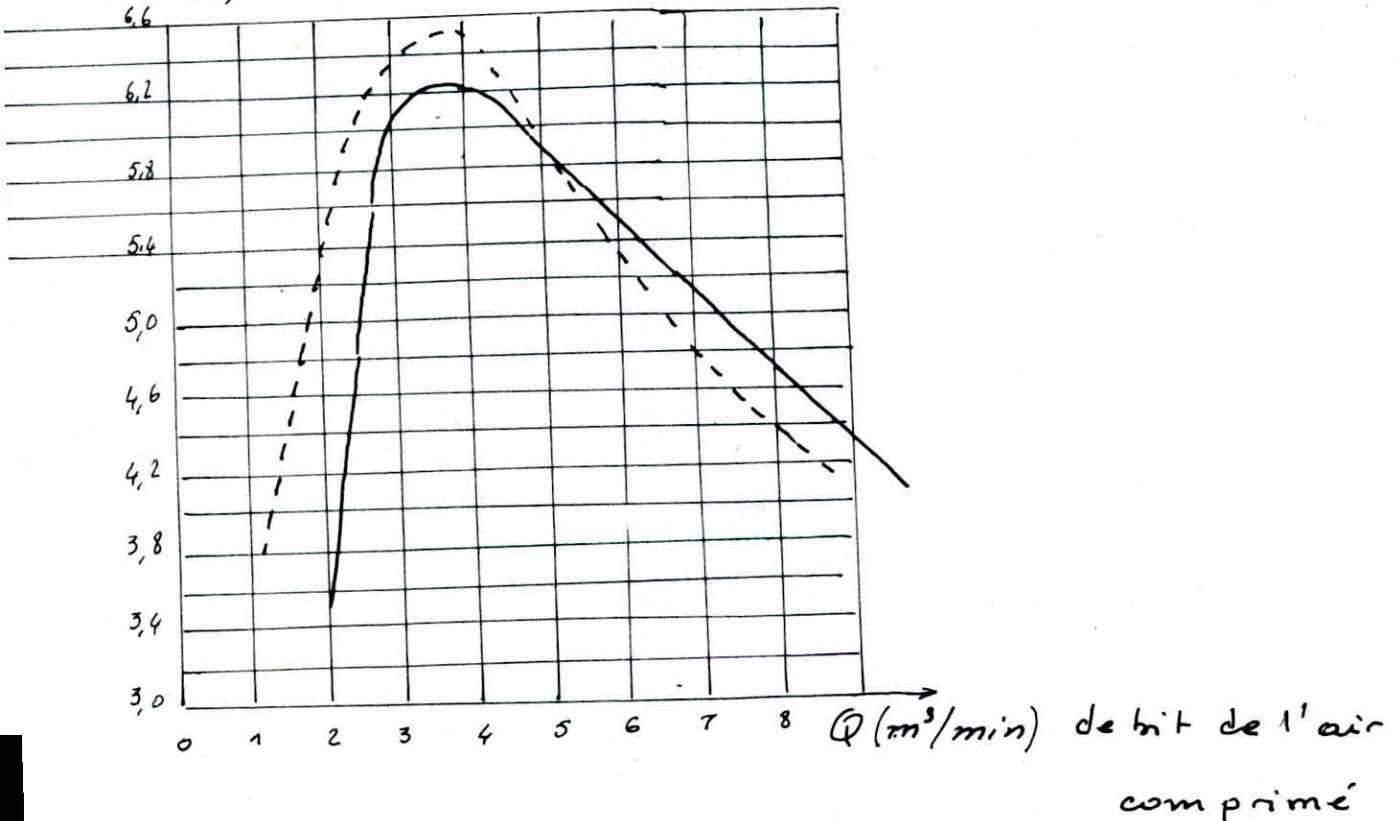
$$F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

d_1 : diamètre de la conduite de l'air comprimé

n : nombre de pores.

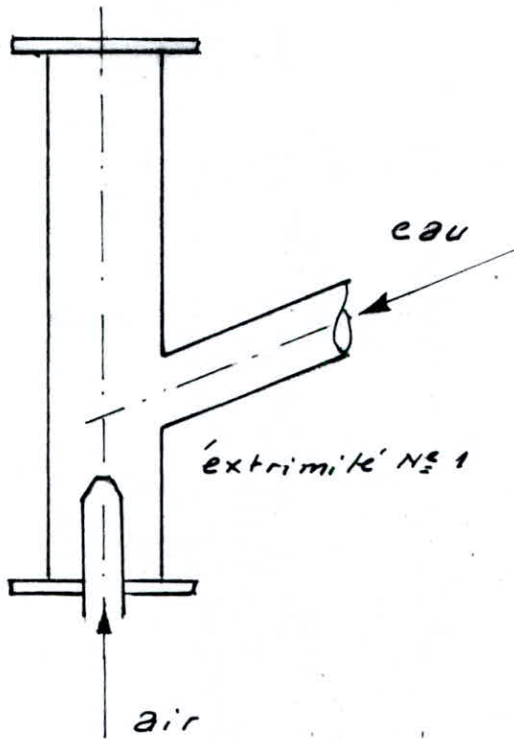
$Q (\text{m}^3/\text{h})$ (débit de l'eau)

eau

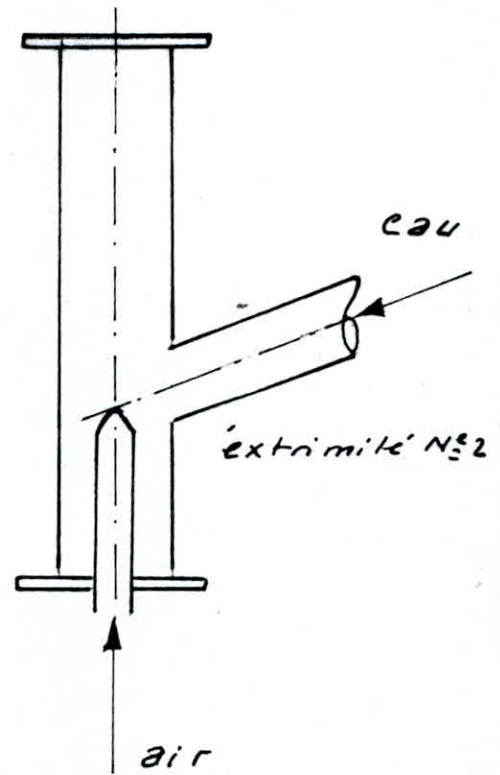


Differentes positions du mélangeur

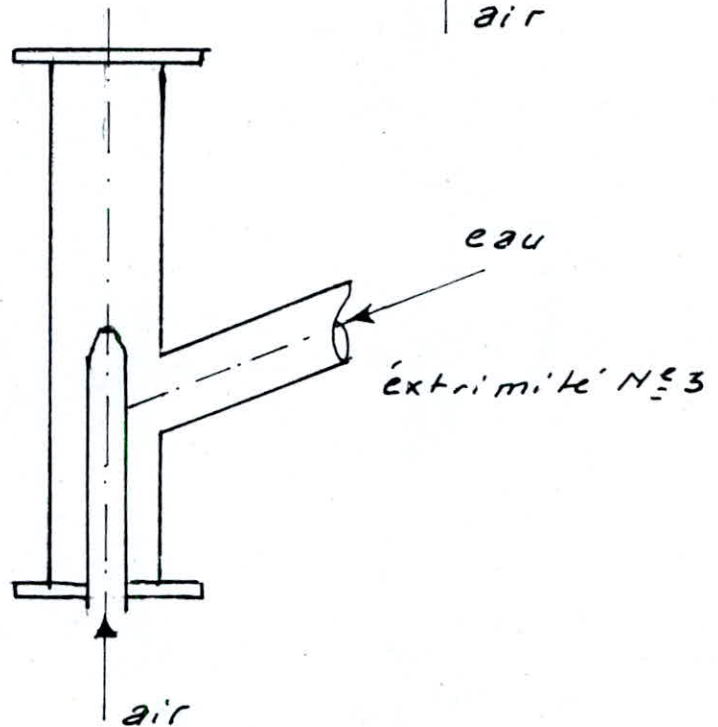
POSITION N°1



POSITION N°2



POSITION N°3



Q
m³/
2000

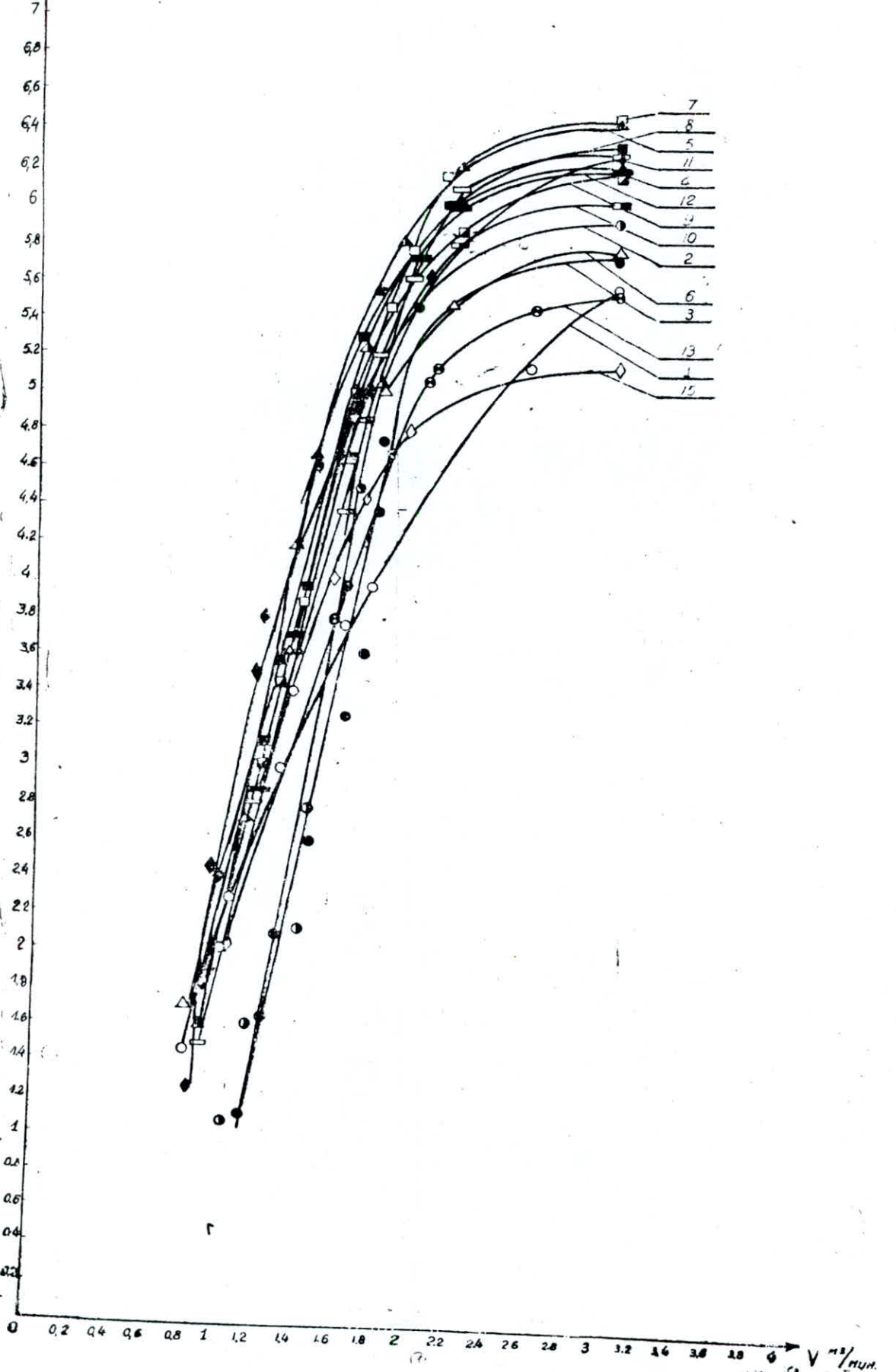
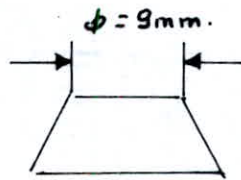


Рис. 4
Величина

Analyse des courbes:

- : courbe N° 1 : extrémité en forme de cône avec le diamètre de 9mm ; position N° 1

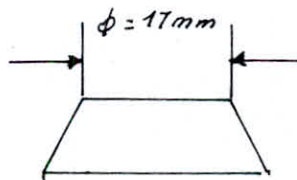


extrémité N° 1 qui correspond à un diamètre de 9mm.

- ⊙ : extrémité N° 1, position N° 2 (courbe N° 2)

- : courbe N° 3; extrémité N° 1, position N° 3

- ▲ : courbe N° 4; extrémité N° 2; Position N° 1

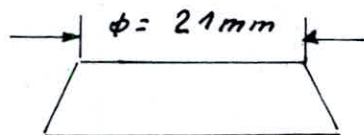


extrémité N° 2 qui correspond à un diamètre de 17mm.

- ▲ : courbe N° 5; extrémité N° 2, position N° 2

- △ : courbe N° 6; extrémité N° 2; position N° 3

- : courbe N° 7; extrémité N° 3; position N° 1



extrémité N° 3 qui correspond à un diamètre de 21mm.

- : courbe N° 8; extrémité 3; position 2

▣ : courbe N° 9 ; extrémité N° 3, position N° 3

◻ : courbe N° 10 ; sans extrémité conique, position 1.

Sans extrémité conique.



◻ : courbe N° 11 ; sans extrémité conique, position 2

▬ : courbe N° 12, sans l'extrémité, position N° 3

● : courbe N° 13 ; air comprimé entre dans le mélange
par les pores de la conduite

◆ : courbe N° 14 ; air - comprimé entre dans le
mélange d'une manière non
organisée

◇ : courbe N° 15 : air comprimé entre dans le mélange
r avec des jets

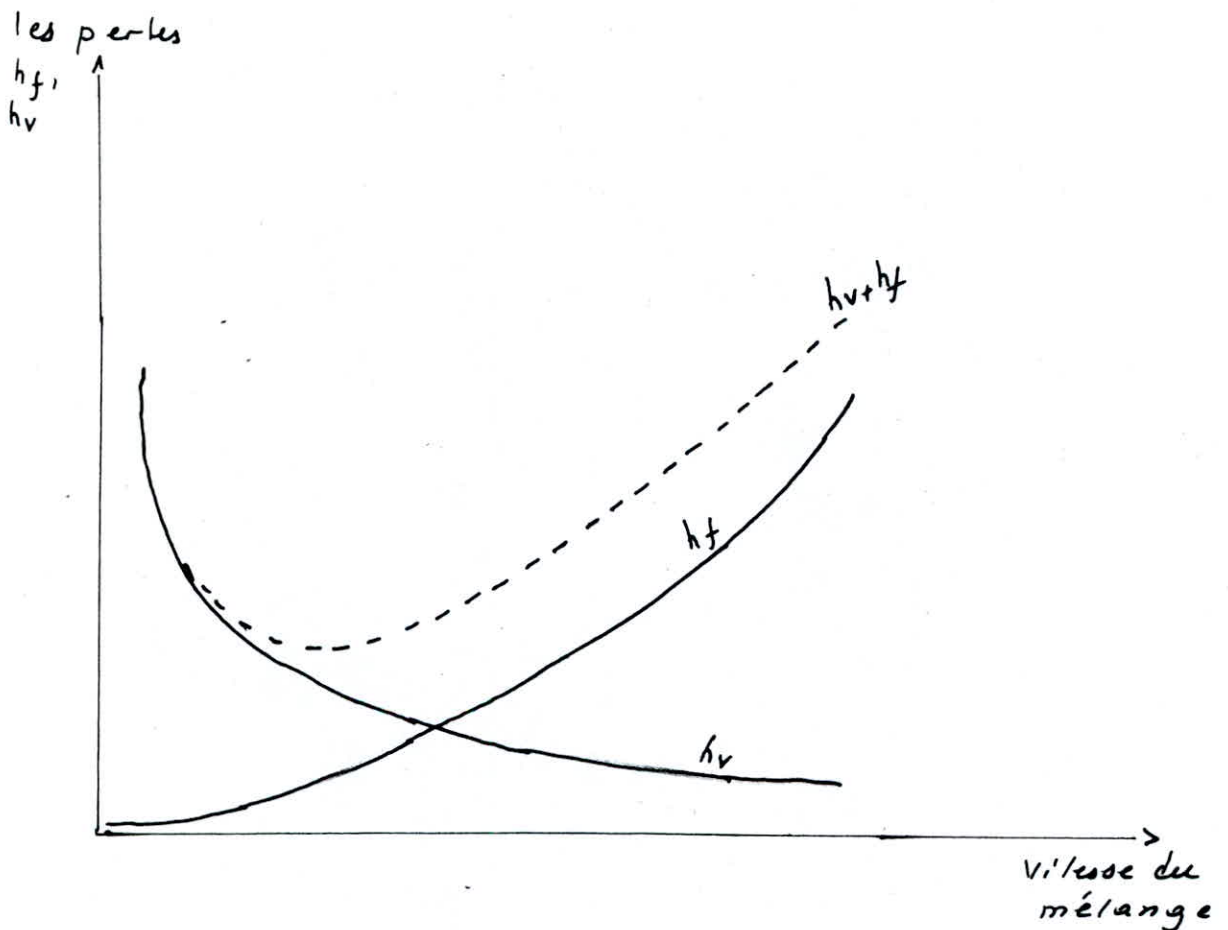
d'après les courbes représentées sur le schéma, la construction du mélangeur aux extrémités 2 et 3 positionnés sont les plus préférables, ces courbes caractérisent des pertes d'énergies qui ont lieu pendant le mouvement du mélange et cette perte a en général deux catégories.

- quand la quantité de l'air est faible, les pertes du frottement sont très grande, et toutes l'énergie est dépensée pour monter le liquide jus qu'au séparateur

toutes l'énergie de l'air comprimé est perdue sur le glissement relatif

- Avec l'augmentation de la quantité de l'air comprimé; c'est à dire augmentation du débit du gaz la quantité d'énergie qui est perdue au glissement diminue, tandis que la quantité de perte sur le frottement augmente, Donc, pour quelque débit Q_g , la somme des pertes deviennent minimales, dans ce cas, le point d'intersection des deux courbes (h_v et h_f) représente les pertes minimales, par contre dans cette région, l'air-lift travail dans le régime optimale.

Pour une augmentation de l'air, on aura une diminution des pertes sur le glissement et une augmentation des pertes sur le frottement. Sur le schéma donné ci-dessous, on peut voir ce phénomène. Donc, pendant le travail d'air lift, dans la zone du débit maximal, les pertes de frottement sont plus grandes que les pertes au glissement, dans ce cas, la construction des extrémités jouent le rôle de satisfaction.



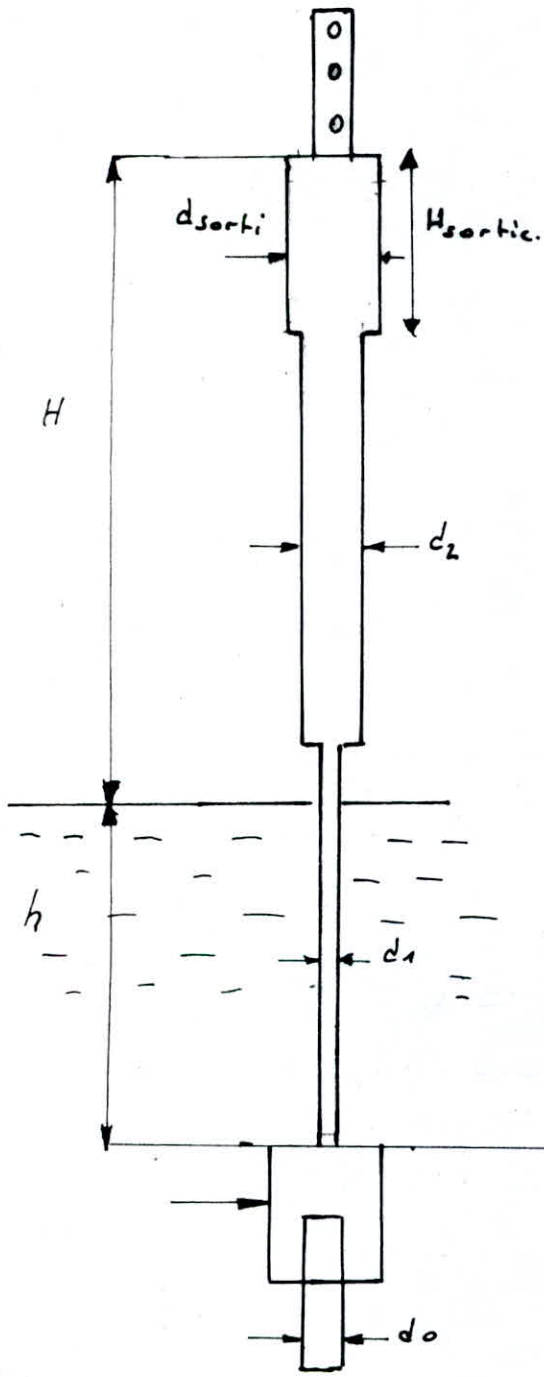


Fig a

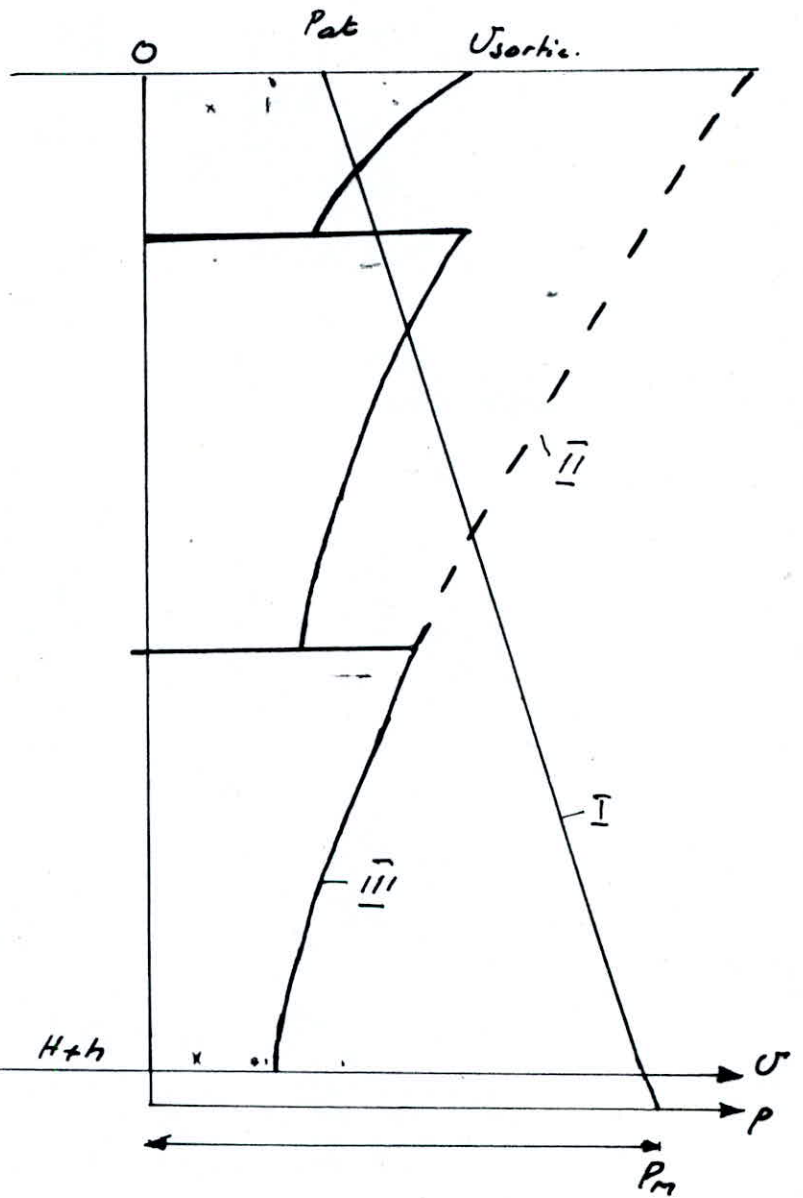


fig 6

Après le mélange pour $\frac{\rho g h}{\rho a} > 2$ dans la conduite

d'alimentation, on fait varier la section:

Les explications sont les suivantes:

La pression du courant diminue linéairement en fonction de la hauteur (droite I sur la fig 6)

tandis que le débit volumique du mélange (air-eau) augmente

la courbe en pointillé (fig 6, II) montre le changement de la vitesse dans la conduite pour un diamètre constant, pour diminuer les pertes d'énergie, il faut diminuer la vitesse

le changement de la vitesse pour le diamètre variable, est présenté sur la figure 6, courbe III

Les longueurs de l'élément de la conduite d'alimentation sont tirées par la condition suivante.

La résistance de la conduite d'alimentation avec un diamètre constant doit être égale à la somme des résistances des éléments reliés en série

$$\frac{H+h}{D^5} = \frac{l_1}{d_1^5} + \frac{l_2}{d_2^5} + \frac{l_{\text{sortie}}}{d_{\text{sortie}}^5} \quad (51)$$

dans cette équation, on remarque qu'il y a trois inconnues, pour la résoudre, il nous

2

faut encore deux autres équations

La première est la suivante:

$$1) H+h = l_1 + l_2 + l_{\text{sortie}} \quad (52)$$

En prenant la résistance de deux éléments égale entre elle, on aura:

$$2) \frac{l_1}{d_1^5} = \frac{l_2}{d_2^5} \quad \text{d'où} \quad l_2 = l_1 \frac{d_2^5}{d_1^5} \quad (53)$$

de (51); (52); (53); on aura:

$$l_{\text{sortie}} = \frac{(H+h) \left[\frac{2}{d_1^5 + d_2^5} - \frac{1}{d^5} \right]}{\frac{2}{d_1^5 + d_2^5} - \frac{1}{d_{\text{sortie}}^5}} \quad (54)$$

et

$$l_1 = \frac{H+h - l_{\text{sortie}}}{1 + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^5} \quad (55)$$

la section du séparateur est fermée (a,b), le mélange d'air-eau sort par les ouvertures latérales, l'air monte en haut par contre l'eau descend en bas

entre la section (a,b) et ouverture supérieure du séparateur (1), il reste des coussins d'air la hauteur de ce coussin d'air est déterminée par:

$$h_3 = (1 \div 3) h_{\text{sortie}}$$

l'air monte en haut par la section (2) du séparateur qui est soumise à l'atmosphère. Pour que l'air ne transporte pas des gouttes de nuage, la vitesse ne doit pas dépasser 2 m/s l'eau sort par les ouvertures latérales (3) et descend en bas par la conduite (4) l'ouverture inférieure "h₁" est déterminée comme étant la somme des pertes de charge dans la résistance de captage des eaux:

$$h_1 = \sum \left\{ \frac{Q^2}{S_1^2 2g} \right\} \quad (m) \quad (56)$$

{: coefficient de perte de charge locale

Q: débit de l'eau.

S₁: section de l'ouverture une.

devant la première ouverture

$$P_{o1} = P_3 + P_{ph} - P_v \quad (61)$$

P_3 : pression effective dans le coussin d'air

P_{ph} : perte de charge sur la hauteur h_2

P_v : pression de vitesse ou pression cinétique

P_{o1} est déterminé à l'aide de l'équation 59 en prenant $U_0 = 5 \div 10 \text{ m/s}$

Pour la première ouverture latérale, nous avons toutes les données pour la détermination de P_{o1} , P_{ph} et P_v , donc à l'aide de l'équation (61), on peut déterminer P_3

$$P_3 = P_{o1} + P_v - P_{ph} \quad (62)$$

Pression cinétique

$$P_v = \frac{\delta_m U_{\text{sortie}}^2}{2g} = \frac{8 \delta_m Q^2 (1+q)}{g \pi^2 d_{\text{sortie}}^4} \quad (63)$$

donc

$$P_v = g \lambda \frac{Q^2 (1+q)}{d_{\text{sortie}}^4} \quad (64)$$

$$P_{ph} = \frac{\gamma}{1+q} a Q_e^2 \quad (65)$$

a : résistance de la conduite sur la hauteur h_2

Q_e : débit équivalent $Q_e = 0,58 Q (1+q)$

$$P_{ph} = \frac{8\lambda 0,355 \gamma h_2 Q^2 (1+q)}{g \pi^2 d_{\text{sorti}}^5} \quad (66)$$

pour $\lambda = 0,02 \div 0,03$ on a:

$$P_{ph} = 0,92 \frac{h_2}{d_{\text{sorti}}^5} Q^2 (1+q) \quad (67)$$

pour la deuxième ouverture

$$P_{02} = P_3 + \frac{P_{ph}}{2} - P_{V_2} \quad (68)$$

pour la troisième ouverture on a:

$$P_{03} = P_3 - P_{V_3} \quad (69)$$

pour la deuxième ouverture, le débit du mélange est déterminé par:

$$Q_{e2} = 0,67 Q (1+q) \quad (70)$$

pour la troisième ouverture, le débit du mélange est:

$$Q_{e3} = 0,333 Q (1+q) \quad (71)$$

la pression cinétique pour la deuxième ouverture est: $P_{V_2} = 0,42 P_1$ (72)

la pression cinétique pour la troisième.

6

ouverture est: $P_{V3} = 0,11 P_{V1}$ (73)

Pour déterminer P_{02} et P_{03} , on peut trouver U_{02} et U_{03} et la section totale de chaque rang de l'ouverture

$$\left. \begin{aligned} \sum S_{01} &= \frac{Q(1+q)}{Z_0 U_{01}} \\ \sum S_{02} &= \frac{Q(1+q)}{Z_0 U_{02}} \\ \sum S_{03} &= \frac{Q(1+q)}{Z_0 U_{03}} \end{aligned} \right\} (74)$$

$$U_{01} < U_{02} < U_{03} \text{ donc } \sum S_{01} > \sum S_{02} > \sum S_{03}$$

Compresseur

Les types de compresseur qui peuvent être utilisés pour air-lift sont présentés sur le tableau suivant:

les types	débit (m^3/min)	Pression absolue Kgf/cm^2
K.345-91	345	13,6
4M10-100/8	100	9
K.250-61-2	250	9
K 500-61	500	9
205 BM 30/8	30	9

Utilisation de l'air-lift dans la pratique.

Pour les ouvrages hydraulique:

Barrage:

$$Q_c = 30 m^3/h; \quad H = 170 m; \quad h = 50 m;$$

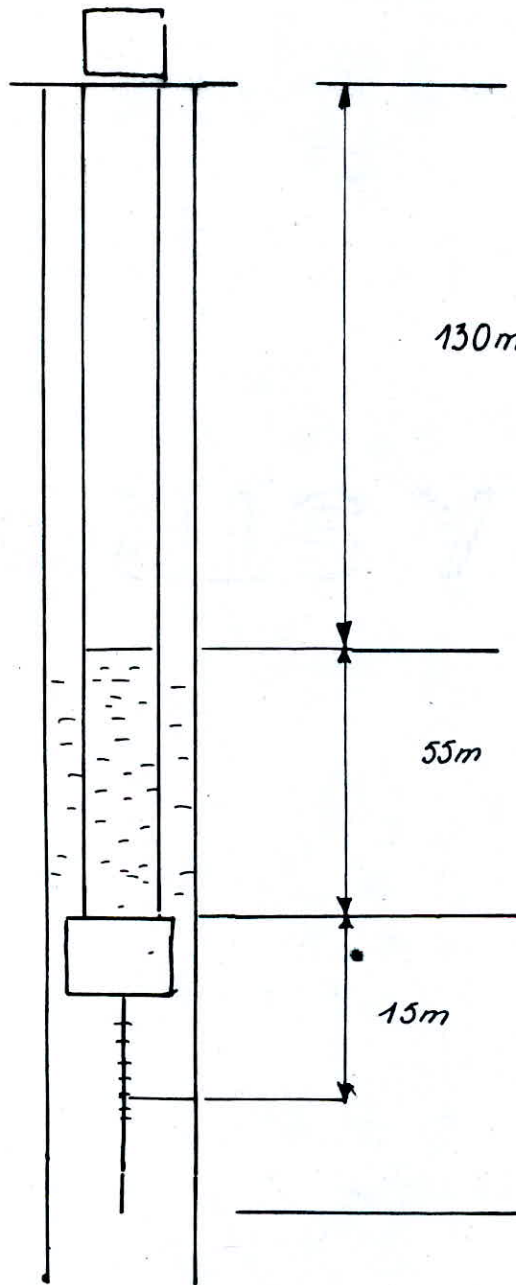
$$D_{air-lift} = 0,133 m; \quad D_{eg} = 0,08 m; \quad Q_g = 12,5 m^3/min$$

$$Q = 200 m^3/h \quad H = 85 m; \quad h = 55 m.$$

$$Q = 300 m^3/h \quad H = 30 m, \quad h = 55 m:$$

Pour le cas des forages:

2



$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calcul de la résistance spécifique dans la conduite d'alimentation air-lift.

Pour le mélange de liquide triphasique, nous savons que l'air-lift peut travailler sous les conditions suivantes

- Avec le mélange d'eau et d'air, ou bien le mélange diphasique c'est à dire quand l'air est plongé dans un liquide homogène.

- Avec le mélange solide, liquide et air, ou bien le mélange triphasique

L'air-lift peut occuper toute la partie inférieure au dessous du mélangeur qui est très longue

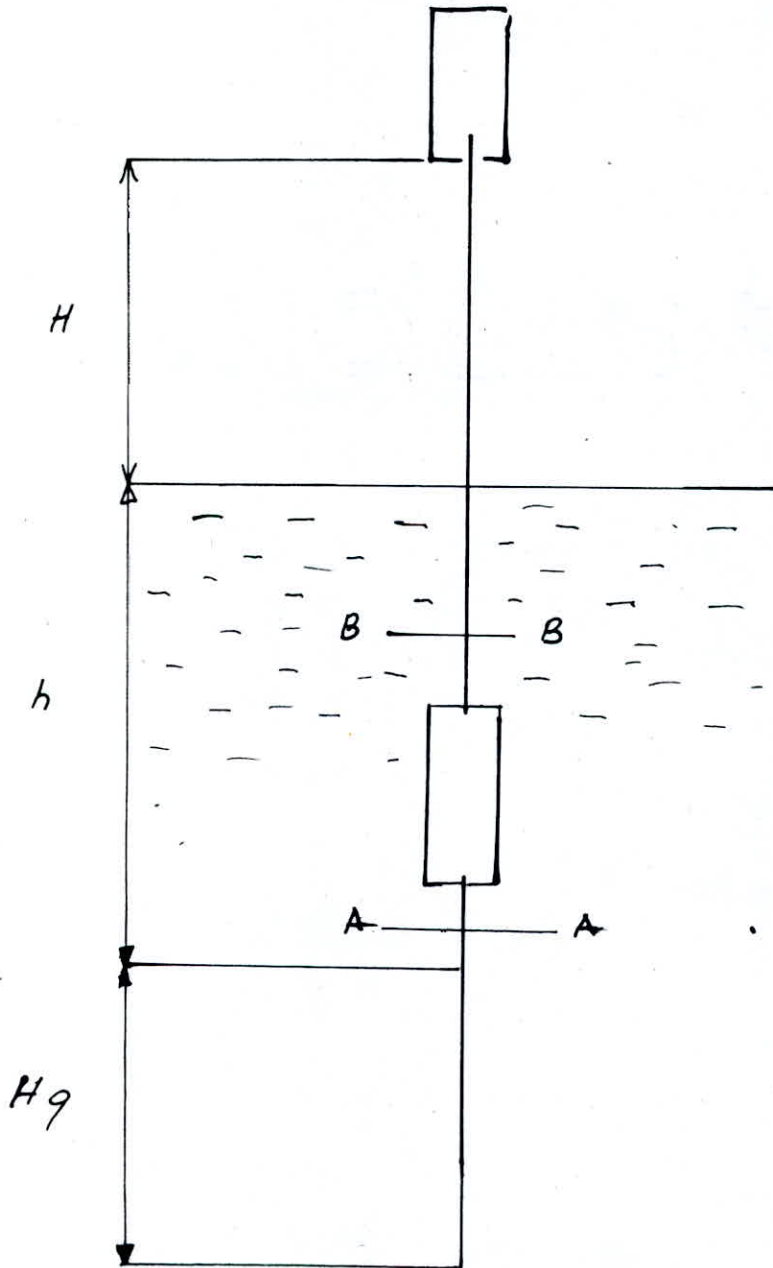
exemple:

l'air-lift qui fait monter la matière première du fond de la mer, barrage ect ...

Donc, les paramètres principaux d'air-lift peuvent dépendre de la résistance de la partie inférieure, de la masse volumique et du détrit du liquide triphasique.

Pour le cas qu'on va considérer, l'équation de la charge totale pour la section A-A à l'extrémité de la conduite inférieure au dessous du mélangeur et pour la section B-B, le commencement de la

Air-Lift.



conduite d'alimentation:

$$\rho_1 g h + \rho_2 g Hq + P_a = P_m + \rho_3 g Hq + \rho_3 g a'q Hq Q_m^2 \quad (37)$$

d'où

$$P_m = \rho_1 g h + g Hq (\rho_2 - \rho_1) - \rho_3 g Hq Q_m^2 + P_a \quad (38)$$

ou

ρ_1 : la masse volumique de l'eau

ρ_2 : la masse volumique du solide

ρ_3 : la masse volumique du mélange solide et eau

P_m : Pression absolue du mélangeur

$a'q$: résistance spécifique de la conduite inférieure au dessous du mélangeur

Hq : longueur de la conduite inférieure au dessous du mélangeur

Q_m : débit du mélange

h : immersion du mélangeur

g : accélération de la pesanteur

P_a : Pression atmosphérique

Écrivons l'équation du bilan de puissance dans la section A. A.

$$N_{air} = N_{sortie} - N_{entrée} \quad (39)$$

la puissance de l'air comprimé à l'entrée du

du mélangeur est $N_{air} = p_a g Q_m \ln \frac{p_m}{p_a}$ (40)

g : débit spécifique de l'air

$N_{entrée}$: puissance du courant de mélange à l'entrée du mélangeur et conduite au dessous du mélangeur de l'air - lift.

$$N_{entrée} = \rho_1 g^h Q_m + g H g (\rho_2 - \rho_3) Q_m - \rho_3 g a' g H g Q_m^3 + p_a Q_m \quad (41)$$

la puissance du courant à la sortie du mélangeur et la conduite d'alimentation.

$$N_{sortie} = \rho_{moy} g (H+h) Q'_m + \rho_{moy} g a'a (H+h) Q'_m + p_a Q_m \quad (42)$$

ou

ρ_{moy} : masse volumique moyenne dans la conduite d'alimentation.

$a'a$: résistance spécifique de la conduite d'alimentation

Q'_m : débit du mélange de l'air - lift

H : hauteur d'alimentation

mettons (40) et (41) et (42) dans (39) on obtient

$$\begin{aligned} p_a g Q_m \ln \frac{p_m}{p_a} [\rho_1 g^h + g H g (\rho_2 - \rho_3) - \rho_3 g a' g H g Q_m^2 + p_a] = \\ = \rho_{moy} g (H+h) Q'_m + \rho_{moy} g a'a (H+h) Q_m^3 + p_a Q'_m - \rho_1 g^h Q_m \\ - g H g (\rho_2 - \rho_3) Q_m + \rho_3 g a' g H g Q_m^3 - p_a Q_m \quad (43) \end{aligned}$$

le débit du mélange dans le conduit est:

$$Q'_m = Q_{air} + Q_{mélange} = q_m Q_m + Q_m = Q_m (1 + q_m) \quad (44)$$

Q_{air} : débit de l'air

q_m : débit spécifique de l'air pour la pression moyenne sur la conduite d'alimentation

Après transformation de l'équation (43) on peut écrire que la résistance spécifique dans la conduite d'alimentation

$$a_a' = \frac{\rho_a \left[g \ln \frac{1}{\rho_a} \left[\rho_1 g h + g H q (\rho_2 - \rho_3) - \rho_3 g a' q H q Q_m^2 + \rho_a \right] \right]}{\frac{(\rho_{m+1}) - 1}{\rho_{moy} g Q_m^2 (\rho_{m+1}) (H+h)} + \frac{h \rho_1 f H q (\rho_2 - \rho_3) a' q H q Q_m^2}{\rho_{moy} Q_m^2 g (\rho_{m+1}) (H+h)} + \frac{1}{Q_m^2}}$$

la résistance de la conduite au dessous du mélangeur

$$a_q' = \frac{8 \lambda}{\pi^2 g D^5}$$

λ : coefficient = 0,02

D : diamètre de la conduite.

En utilisons (43) on peut écrire l'équation qui représente le model mathématique de l'air-lift

$$h = \frac{\rho_2}{\rho_1 g} \left[\exp \left(\frac{A}{\rho_a g} \right) - 1 \right] - \frac{\rho_2 - \rho_3}{\rho_1} H q - \frac{\rho_3}{\rho_1} a' q Q'_m H q \quad (46)$$

$$A = \rho_{\text{moy}} g L (q_m + 1) + \rho_{\text{moy}} g \alpha_a L Q_m^2 (q_m + 1) - \rho_1 g h + \rho_a (q_m + 1) - g H q (\rho_2 - \rho_3) + \rho_3 g \alpha_q Q_m^2 + \rho_a$$

L : longueur totale = $H + h$.

Pour simplifier l'équation (45) et (46) on néglige la masse volumique de l'air comprimé

$$\rho_{\text{moy}} g Q_m = \rho_a g Q_a + \rho_3 g Q_m \approx \rho_3 g Q_m$$

ρ_a : masse volumique de l'air

Si le liquide est homogène $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho$ et si la conduite au dessous du mélangeur est courte $\alpha_q = 0$, l'équation () est présentée comme suit:

$$\rho_a q \ln \frac{\rho g h + \rho_a}{\rho_a} = \rho_a q_m + \rho g H + \rho g \alpha_a (H + h) Q_m'^2 \quad (47)$$

Le rendement de l'air-lift est:

$$\eta_a = \frac{\rho g H}{\rho g H + \rho g \alpha_a Q_m'^2 (H + h)} = \frac{H}{H + \alpha_a Q_m'^2 (H + h)}$$

En tirant h de l'équation (47) on aura:

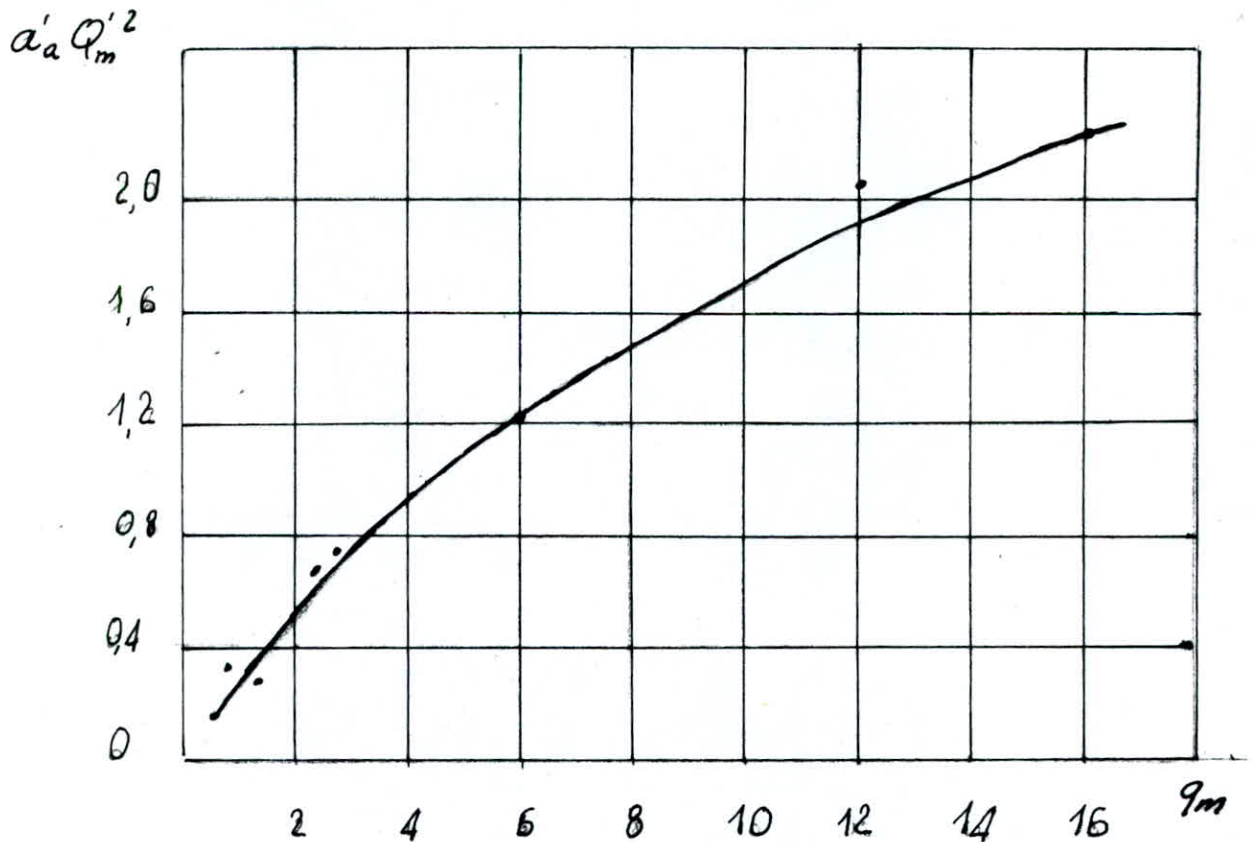
$$h = \frac{\rho_a}{\rho g} \left[\exp \left(\frac{\rho g h}{\rho_a q \eta_a} + \frac{q_m}{q} \right) - 1 \right] \text{ est l'équation}$$

du modèle mathématique de l'air-lift

En utilisant l'équation (47) pour des valeurs déterminées, on peut calculer la résistance spécifique dans la conduite d'alimentation de l'air - Lift.

$$\alpha_a' = \frac{P_a q \ln \frac{\rho g h + P_a}{P_a} - P_a q_m - \rho g H}{\rho g (H+h) Q_m'^2}$$

D'après les données bibliographiques, nous pouvons tracer la dépendance $\alpha_a' Q_m'^2 = f(q_m)$



Pendant le calcul d'air - Lift, on détermine d'habi.

- tude $q = f(\alpha)$, donc d'après les données, on peut déterminer la résistance de l'air. Lift spécifique

CHAPITRE V

*Base de la théorie
de l'air. lift*

Le principe de fonctionnement et les déplacements fondamentaux d'air-lift.

Principe de fonctionnement de l'air-lift et la pompe dynamique de frottement:

Le mélange (air et liquide) monte sous l'action des forces qui naissent qui produisent un mouvement relatif du gaz (air) et liquide le déplacement se produit à cause de différence des puissances de courant de l'air comprimé qui entre dans la conduite d'air lift et de courant de hydromélange qui sort de la conduite de l'air-lift;

la différence de ces puissances est produite à l'aide d'un compresseur (de piston centrifuge)

Le principe de fonctionnement et les dépenses fondamentales d'air-lift est considérés et représentés par le schéma (Fig 1.a)

Par la conduite de l'air comprimé, le gaz entre dans le mélangeur de l'air-lift (position N° 2) dans ce cas la pression devant le mélangeur est inférieure à la pression extérieure; l'eau entre par la conduite N° 3 dans le mélangeur

Sous l'action du courant, l'eau se déplace le long de la conduite d'alimentation N°4. et passe dans le séparateur où se produit la séparation de l'air comprimé et hydromélange

Mise en marche de l'air-lift.

Sur le schéma, on représente les différentes positions essentielles de la mise en marche de l'air-lift.

Position a.

Le liquide est plongé dans le mélangeur sur une profondeur fixée, cette profondeur est déterminée par l'immersion géométrique;

la conduite de l'air comprimé N°1 est en communication avec l'atmosphère, le débit d'air est nul,

la pression hydrostatique devant le mélangeur est déterminée à l'aide de la pression absolue

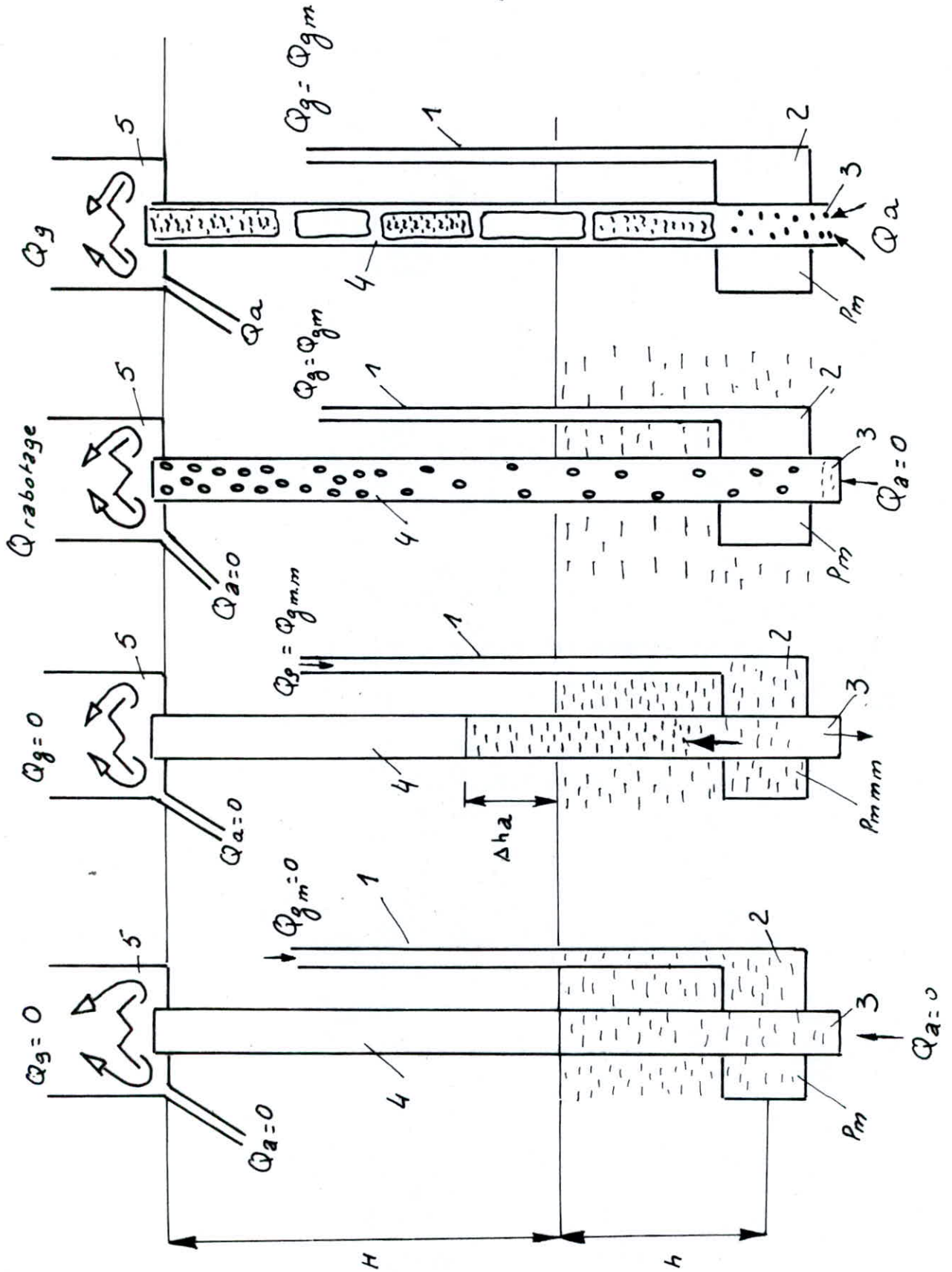
d'immersion $P_m = \rho g h$ (1)

ρ : masse volumique du liquide Kg/m^3

Position b.

la conduite qui est reliée avec le compresseur, ce compresseur fait créer la pression devant le

mise en marche d'air-lift



d)

c)

b)

a)

melangeur necessaire pour faire monter le liquide de la conduite de l'air jus qu'a la conduite d'alimentation de l'air lift N°4 qui traverse la conduite N°3 reliee au reservoir

La pression de la mise en marche de l'air-lift devant le melangeur

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

Δh_a : augmentation de la colonne du liquide par rapport à la conduite d'alimentation pendant la mise en marche

de liquide qui se trouve dans la conduite de l'air se deplace vers la conduite d'alimentation

la quantité Δh_a est calculé par la formule

$$\Delta h_a = a_c Q_L^2 \quad (3)$$

a_c : resistance de la conduite (3)

Q_L : debit du liquide qui descend de la conduite N°3 en allant vers le reservoir (m³/s)

$$Q_L = \frac{V_{c.g}}{t_{mm}} \quad (4)$$

$V_{c.g}$: Volume du liquide de la conduite de l'air N°1

t_{mm} : temps de la mise en marche

$$V_{c.g} = \frac{\pi d_{cg}^2}{4} \cdot h \quad (5)$$

$d_{c.g}$: diamètre de la conduite de gaz.

mettons (3); (4); (5) dans (2) on obtient:

$$P_{mmm} = \rho g \left(h + \frac{\pi^2 \alpha_c d_g^4}{16} \frac{h^2}{t_{mm}^2} \right) \quad (6)$$

Le débit de l'air pendant la mise en marche

est: $Q_{gmm} = \frac{\pi}{4} d_g^2 \frac{h}{t_{mm}} \quad (7)$

de (6); et (7) on voit que le débit et la pression de la mise en marche de l'air lift dépendent du temps de la mise en marche, donc pratiquement on peut déterminer Δh_a par la formule suivante

$$\Delta h_a = h \frac{d_g^2}{D_c^2} \quad (8)$$

donc, la pression nécessaire pour que l'air comprimé entre dans le mélangeur doit être égale au minimum de la pression de la mise en marche

La pression du compresseur doit être égal à:

$$P_c = P_{mmm} + \Delta h_g \quad (9)$$

Δh_g : perte de charge dans la conduite de gaz

Pour déterminer la pression nécessaire du compresseur pendant la mise en marche, il faut

mettre la valeur de (6) dans (2)

En général, la perte de charge dans la conduite de l'air est négligée, car le débit d'air pendant la mise en marche est beaucoup plus que le débit de gaz nécessaire pendant le travail pendant le travail normal, la formule (9) prend la forme suivante:

$$P_{comp} = \rho g h \left(1 + \frac{\pi^2}{16} a_c d_g^4 \frac{h^2}{L^2} \right) \quad (10)$$

$$P_{comp} = \rho g h \left(1 + \frac{d^3}{D_c^2} \right) \quad (11)$$

de (10) et (11) on voit que la pression au moment de la mise en marche doit être toujours supérieure que la pression statique dans le mélangeur, on tient compte de cette condition pendant le choix du compresseur, pour la seret, il faut déterminer la pression de la mise en marche à l'aide de la formule (11); avec la pression qui est égale à la pression de la mise en marche, l'air comprimé entre dans le mélangeur, la masse volumique de l'air reste négligeable devant la masse volumique du liquide l'air comprimé entre dans le mélangeur sous

l'action des forces d'Archimède monte à travers le liquide dans la conduite d'alimentation en créant de colonnes de mélange (gaz-liquide) la masse volumique moyenne dans cette colonne est faible devant la masse volumique du liquide ce processus s'appelle barbotage; la pression pendant le barbotage est déterminée par la formule suivante:

$$P_{\text{mel. moy. barb}} = P_{\text{mel barb}} \rho (H+h) \quad (12)$$

dans cette formule (12) on doit tenir compte du débit de l'air-lift qui est nul (position c) donc la masse volumique du mélange barbotage:

$$P_{m.b} = \rho \frac{h}{H+h} \quad (13)$$

de la formule (13), on voit que la relation de la hauteur d'immersion absolue à la hauteur totale s'appelle l'immersion relative du mélangeur c'est un paramètre sans dimension:

$$\alpha = \frac{h}{H+h}$$

dans la conduite d'alimentation, on crée la colonne du mélange (position c) (le liquide

monte jusqu'à la partie supérieure de la conduite sans se dégager donc ($Q_a = 0$), cette condition sera satisfaite si la vitesse relative de l'air est égale à la valeur pour laquelle, la force hydrodynamique n'est pas encore suffisante, pour transporter le liquide de la conduite

D'après les données de chercheurs, la valeur de vitesse relative suffisante est égale à $2 \div 3 \text{ m/s}$
Le mélange dans la colonne de barbotage (13) est égal à :

$$P_{m.b} = \rho_l \cdot d \quad (15)$$

ρ_l : masse volumique du liquide (Kg/m^3)
Donc, en utilisant les explications données, on peut déterminer la quantité de l'air qui entre dans la colonne de barbotage ($Q_a = 0$)

$$Q_b = V_b D_c^2 (1-\alpha) \approx 2 \div 3 D_c^2 (1-\alpha) \quad (16)$$

d'après les données expérimentales, le changement de la pression avec la hauteur de la pression manométrique du mélange jusqu'à la sortie se produit d'après la loi linéaire
La pression moyenne est déterminée par la formule suivante: $P_m = \frac{P_{\text{mélangeur}}}{2} = \rho g \frac{h}{2}$

conduite d'alimentation, ce qui signifie que :
 la pression diminue dans le mélangeur et devient inférieure à la pression statique calculée d'après la formule (1), la différence de pression crée et le liquide commence de (3) à (2) c'est à dire le débit d'air lift commence et qui forme la différence de pression devant le mélangeur le débit d'air lift est déterminé comme suit:

$$Q_a = \sqrt{\frac{h - \frac{\rho_m}{\rho g}}{a_c}} \quad (21)$$

$$Q_a = \sqrt{\frac{h - \frac{\rho_m}{\rho} (H+h)}{a_c}} = \sqrt{\frac{h}{a_c} \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho} \frac{H+h}{h} \right)}$$

$$Q_a = \sqrt{\frac{h}{a_c} \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho \alpha} \right)} \quad (22)$$

de la formule (22) on voit que avec la diminution de la masse volumique moyenne du mélange et augmentation du débit de l'air lift, le débit de l'air augmente, la masse volumique du mélange rapportée à la

Pression moyenne depend de la quantite de l'air et du liquide, on peut prendre d'après la loi de conservation de la masse que la masse volumique du mélange est déterminé par la relation suivante:

$$\rho_m = \frac{\rho_a Q_a + \rho_g Q_g}{Q_{a\text{ moy}} + Q_{g\text{ moy}}} \quad (23)$$

En représentant le débit de l'air avec le débit du gaz standard à l'aide de la formule (19) on a:

$$Q_{g\text{ moy}} = Q_g \frac{P_{at}}{P_{at} + \frac{P_{moy}}{2}}$$

donc la formule (23) aura la forme suivante:

$$\rho_{m\text{el}} = \frac{\rho_a Q_a + \rho_g Q_g}{Q_a + Q_g \cdot \frac{P_{at}}{P_{at} + \frac{P_{moy}}{2}}}$$

en divisant le tout sur Q_a on obtient

$$\rho_m = \frac{\rho_a \left(1 + \frac{\rho_g}{\rho_a} \cdot \frac{Q_g}{Q_a} \right)}{1 + \frac{Q_g}{Q_a} \cdot \frac{P_{at}}{P_{at} + \frac{P_{moy}}{2}}}$$

le rapport $\frac{Q_3}{Q_2} = q$ (25)

on obtient finalement:

$$\rho_m = \frac{\rho_e \left(1 + q \frac{\rho_3}{\rho_e} \right)}{1 + q \frac{\rho_{at}}{\rho_{at} + \frac{\rho_{moy}}{2}}} \quad (26)$$

l'analyse de la formule (26) montre que la masse volumique de l'air standard est très inférieure par rapport au débit spécifique et la masse volumique du liquide, on néglige le second paramètre $\left(q \frac{\rho_3}{\rho_e} \right)$, donc le débit spécifique de l'air résolvé par rapport à la pression moyenne. dans tout le long de la conduite d'alimentation est déterminé par la formule suivante.

$$q_{mélange} = q \frac{\rho_{at}}{\rho_{at} + \frac{\rho_m}{2}} \quad (27)$$

par la formule (27) après simplification de la formule (26), la masse volumique du mélange prend la forme suivante.

$$\rho_m = \frac{\rho_{moy}}{1 + q_{mélange}} \quad (28)$$

Exemple de calcul d'air-lift

on donne: $Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$; $H = 130 \text{ m}$

1) Détermination de la hauteur "h" (immersion absolue)

$h = 10(P_c - \Delta P)$ où P_c est la pression effective du compresseur

$P_c = 7 \text{ at}$; ΔP : la perte de charge = $(1 \div 1,5 \text{ at})$, donc

$$h = 10(7 - 1,5) = 55 \text{ m.}$$

2) Détermination de l'immersion relatif minimum.

$$d_{\min} = \frac{h}{H+h} = \frac{55}{130+55} = 0,3$$

3) Détermination du coefficient du débit "c" en fonction de d, pour $d = 0,3$ on a $c = 0,104$

4) on calcule le rapport $Q/c = \frac{300}{0,104} = 2940$

5) on détermine le diamètre moyen équivalent

$$Q = c \cdot D^{2,5} \Rightarrow D^{2,5} = \frac{Q}{c} = 24 \text{ cm}$$

On fait une répartition du diamètre moyen sur toute la longueur de la conduite

1) Partie une qui se trouve sous l'eau. $D_1 = 22,5 \text{ cm}$, $l_1 = 60 \text{ m}$

2) Partie deux "moyenne" $D_2 = 25 \text{ cm}$, $l_2 = 150 \text{ m}$.

3) Partie trois (sortie) $D_3 = 40 \text{ cm}$, $l_{\text{sortie}} = 15 \text{ m}$

6) on détermine le débit spécifique de l'air-lift "q"

$$q = a \left[K q_{\min} + \frac{0,085 \left(\frac{h}{10} + 1 \right) (1-a)}{c D^{0,5}} \right] \text{ avec } a = 1,05$$

$$q_{\min} = \frac{H}{23 \log \left(\frac{h}{10} + 1 \right)} = \frac{130}{23 \log (5,5 + 1)} = 7$$

de la formule $c = 0,025 \sqrt{\frac{h(K-1) \left(\frac{1}{a} - 1 \right)}{\left(K q_{\min} + 1 \right)^2 \frac{D^5}{D_3^4} + 0,022 \frac{h}{a} \left[1 + K \left(\frac{1}{a} - 1 \right) \right]}$

on tire $K = 1,6$

$$\text{d'où } q = 1,05 \left[1,4 \cdot 7 + \frac{0,094 \cdot 6,5 \cdot 0,7}{0,104 \cdot 4,9} \right] \approx 11$$

7) on calcule le débit du compresseur

$$Q_c = 1,1 \frac{Q_g}{60} = \frac{1,1 \cdot 90}{60} = \frac{1,1 \cdot 11 \cdot 300}{60} = 60 \text{ m}^3/\text{min}$$

on choisit le compresseur 4M10-80/8

avec $Q = 100 \text{ m}^3/\text{min}$; et $P_{ab} = 9 \text{ kgf/cm}^2$.

8) calcul du mélangeur (voir schéma N°2)

9) l'air-lift avec le diamètre reparti en trois sections.
(schéma N°1)

10) Diamètre de la conduite d'air comprimé

la vitesse de l'air comprimé est égal à 10 m/s

la section de la conduite d'air comprimé $S = \frac{Q_g}{V_g} = \frac{60}{60 \cdot 10} = 0,1 \text{ m}^2$

avec $S = 0,1 \text{ m}^2 \Rightarrow D_g = 300 \text{ mm}$

11) calcul du mélangeur

Pour qu'il y'aurait pas de champs de vitesse devant le mélangeur, on prend $H_m = (3; 5) D_g = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$

Pour déterminer le diamètre du mélangeur D_m , il faut que la vitesse de l'air de la section annulaire doit être égale à la vitesse dans la conduite de l'air, la section annulaire est déterminée par:

$$S_a = \frac{qQ}{\left(\frac{P_a + \rho g h}{P_a}\right) V_g} = \frac{11 \cdot 300}{60 \cdot 6,5 \cdot 10} = 0,90 \text{ m}^2$$

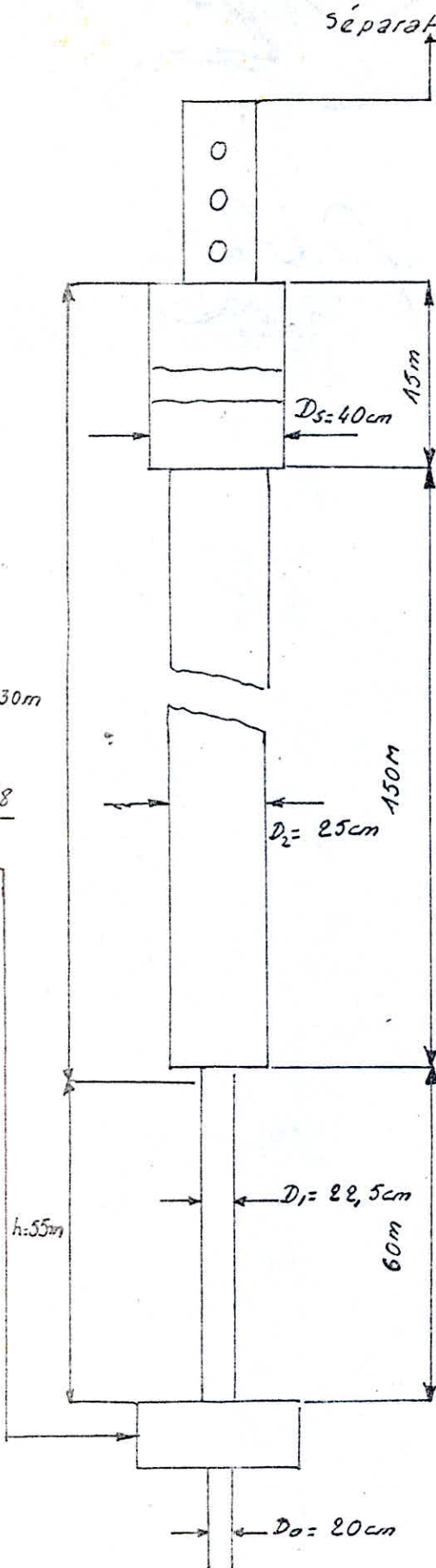
le diamètre du mélangeur est déterminé comme suit:

$$d_m = \sqrt{\frac{4 \times 0,90}{3,14} + D_0^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,90}{3,14} + 0,04} \approx 1,1 \text{ m}$$

$$d_m = \sqrt{\frac{4 S_a}{\pi} + D_0^2}$$

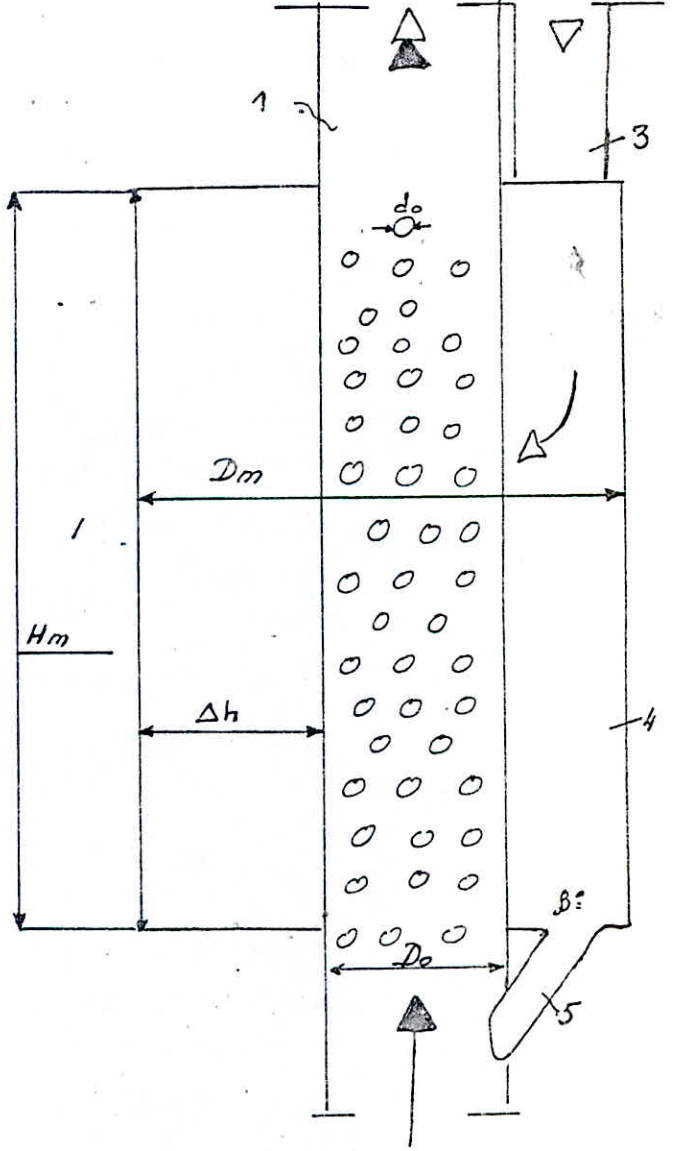
séparateur

4CM 10.80/8



- 1: conduite d'alimentation
- 2: ouverture perforée
- 3: conduit d'air
- 4: caméra cylindrique qui diminue la vitesse
- 5: conduite d'accumulation

$d_0 = 3 \div 6 \text{ mm}$
 $D_m = 3,5 D_0 = (0,7 \div 1) \text{ m}$
 $H_m = (3 - 4) D_0 = 1 \text{ m}$
 $D_0 = (0,3 \div 0,5) D = 0,2 \text{ m}$
 $\beta = 45^\circ - 60^\circ$



$\Delta h = (0,3 - 0,5) D_0 = 0,1 \text{ m}$

Conclusion:

L'air-lift dans le domaine hydraulique est efficace.

Il peut résoudre plusieurs problèmes surtout dans le cas des forages où l'eau est agressive, l'utilisation des pompes dans ce cas est impossible.

Il est aussi à noter que pour le cas des barrages, lorsqu'on a un mélange (solide-liquide), la solution de surélévation est pratiquement inutile. La solution de dragage exige des investissements importants.

Pratiquement, l'utilisation de l'air-lift est la plus convenable.

Bibliographie

- 1) - Heier-V: Installation d'air-lift
DONESK 1982
- 2) - Heier-V: la nouvelle technologie de
pompage de l'eau de mine
DONESK 1972
- 3) - ROJEVSKI-V: NOUROK C,
La Technologie de production
des minéraux utiles de fond
de la mer et océan
NEORA, MOSCOU 1980
- 4) - METREVELI-V; caractère du mouvement
du mélange gaz-liquide
à l'air-lift
TBILISSI 1967
- 5) - HUG-MICHEL: mécanique des fluides
appliquée
- 6) - PAUL-CHAMBARAL: La thermodynamique
- 7) - MAURICE-BAILLY: La thermodynamique
technique:

