

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

Genie Chimique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Étude hydrodynamique d'un réacteur
gaz liquide agité mécaniquement.*

Proposé par :

M^{me} BENTAHAR

Etudié par :

R. DJADOURI
N. KEZZAL

Dirigé par

M^{me} BENTAHAR

PROMOTION

Septembre 1993

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية
MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

Genie Chimique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Etude hydrodynamique d'un réacteur
gaz liquide agité mécaniquement*

Proposé par :

M^r BENTAHAR

Etudié par :

R. DJADOURI
N. KEZZAL

Dirigé par

M^r BENTAHAR

PROMOTION :

Septembre 1993

E.N.P. 10, Avenue Hacén Badi El-Harrach - ALGER

Dédicaces



A mon Père bien aimé

A ma Mère

A mon époux

A mes frères et sœurs

A ma belle famille

A M^{me} Zina, Macha, Saïda.

A Hichem

Ratiba

Benny

A tous ceux qui me sont chers

Natacha

REMERCIEMENTS

Nous saisissons cette occasion, pour exprimer notre profonde gratitude et nos chaleureux remerciements, aux personnes qui nous ont apporté tout au long de nos travaux, l'aide et l'assistance que nous souhaitons et attendions d'eux.

Une pensée toute particulière à **Madame BENTAHAR**,
Chargée de cours à l'E.N.P et l'U.S.T.H.B, pour son encadrement et ses orientations,
dans la conception de ce projet de fin d'étude.

Nous sommes également sensibles à l'honneur que nous ont fait :

Monsieur BENIDIR, Maître Assistant à L'E.N.P, Chef de Département du Génie Chimique, en acceptant la Présidence du jury lui qui, par ses enseignements, nous a tant apporté;

Monsieur AHMED ZAID, Assistant à l'E.N.P, Membre du jury, pour son aide permanente et sa grande disponibilité,

Madame MEZIANI, Chargée de cours à l'E.N.P, Membre du jury

Monsieur BENDJEMAA, Chargé de cours à l'E.N.P, Membre du jury.

Ministère de l'Education Nationale
Ecole Nationale polytechnique
Département Génie chimique
Promoteur Mme F. Bentahar
Elèves ingénieurs : N. KEZZAL
R. DJADOURI

وزارة التربية الوطنية
المدرسة الوطنية للمتعددة
التقنيات
دائرة: الهندسة الكيميائية
المشرف السيدة ف بنتاهر
ماحب الأطروحة: كزال نالماشة
جادوري رتيبة

الملخص:

إن موضوع أطروحتنا هو دراسة وتحقيق مفاعل غازي
سائل يتم حركه يلمرية مكانية، وأيضا
دراسة تأثير كل العوامل (السرعة، الدوران، التدفق الغازي
وارتفاع السائل) على كمية الغاز المحصور في الماء.

Resumé

(L'objet) de notre mémoire est la conception et la réalisation
d'un réacteur gaz liquide agité mécaniquement, (d'étudier
l'influence de plusieurs facteurs (agitation, débit gazeux
moteur du lit liquide) sur la retention gazeuse.

Abstract

The object of our work is the conception and the
realization of a gas_liquid reactor mecaniquely waved, and
study the influence of many factors (agitation, the gas
retail and the height of the liquid bed) on gas retention.

INTRODUCTION GENERALE.

 CHAPITRE I : ETUDE HYDRODYNAMIQUE DE REACTEUR GAZ
 LIQUIDE AGITE MECANIQUEMENT

I-1	Phénomène d'agitation	P. 5
I-1/1	Différents mobiles d'agitation, description et géométrie des organes d'agitation	P. 5
I-1/2	Choix du mobile d'agitation	P. 5
I-1/3	Mobile à débit axial	P. 7
I-1/4	Mobile à débit radial	P. 7
I-2	Réacteur gaz liquide à cuve agitée mécaniquement	P. 10
I-2/1	Mécanisme de la dispersion du gaz sur une turbine de RUSHTON	P. 12
I-3	Formation de la bulle par un orifice simple	P. 15
I-4	Grandeurs caractéristiques	P. 16
I-4/1	Géométrie d'un système d'agitation	P. 16
I-4/2	Analogie avec la mécanique des fluides	P. 17
I-4/3	Débit de pompage et de circulation a/ débit de pompage b/ débit de circulation	P. 17
I-4/4	Puissance dissipée	P. 18
I-4/5	Définition de la vitesse d'engorgement	P. 19
I-4/6	Vitesse minimale d'agitation	P. 21
I-5	Etude bibliographique - rétention	P. 21

CHAPITRE II : INSTALLATION ET TECHNIQUES DE MESURE

II-1 Installation expérimentale	P. 25
II-1/1 La cuve	P. 25
II-1/2 Le diffuseur	P. 25
II-1/3 Le gaz	P. 25
II-1/4 Le mobile d'agitation	P. 27
II-1/5 Le moteur	P. 27
II-2 Techniques de mesure	P. 27
II-2/1 Mesure du débit de gaz	P. 28
II-2/2 Mesure de la vitesse de rotation	P. 36
II-2/3 Mesure de la rétention	P. 36
II-3 Procédure expérimentale	P. 36

CHAPITRE III : INTERPRETATION DES RESULTATS

III-1 Etude hydrodynamique	P. 38
III-1/1 Influence de la variation de la vitesse d'agitation sur la rétention	P. 38
III-1/2 Influence de la variation du débit gazeux sur la rétention	P. 45
III-1/3 Influence de la variation de la hauteur sur la rétention	P. 45
CONCLUSION	P. 51, 52
ANNEXE Tableaux des valeurs expérimentales	P. 53, 61
BIBLIOGRAPHIE	P. 62, 63
NOMENCLATURE	P. 64

Introduction

INTRODUCTION

L'absorption avec réaction chimique, de gaz dissous dans un solvant liquide contenant un ou plusieurs réactifs se rencontre dans quatre champs d'application industriels:

1- Lavage des gaz acides :

CO₂ - H₂O - SO₂ - NO - NO₂ - NXO₄ - HF - SiF₄ - Cl₂, vapeurs organiques.

Pour la préparation des gaz de synthèse et pour lutter contre la pollution de l'air, etc...

2- Fabrication de produits purs :

H₂SO₄ - HNO₃ - BaCO₃, acide adipique, phosphates etc...

3- Procédés biologiques :

Fermentation, oxydation des boues, fabrication de protéines à partir d'hydrocarbures, oxydation biologique, etc...

4- Procédés en phase liquide :

oxydation, hydrogénation, sulfonation, nitration, halogénéation
alkylation, polymérisation, etc...

Les absorbeurs utilisés ont des formes très diverses;

- * Réacteurs tubulaires, à bulles, à gouttes, à film tombant à garnissage, à plateaux.
- * Réacteurs à cuve agitée mécaniquement
- * Réacteurs du type jets ou venturis

Les différentes formes géométriques sont dues à la compétition entre les phénomènes;

- De thermodynamique chimique (solubilité des gaz, diffusivité des réactifs)
- De transfert de matière et de chaleur de chaque côté de l'interface gaz liquide (coefficient de transfert et aires interfaciales)
- De cinétique chimique (constante cinétique, ordre de réaction, sélectivité etc...

Le choix du réacteur, devant fonctionner dans des conditions hydrodynamiques et énergétiques optimales, est conditionné par une parfaite connaissance des différents paramètres qui caractérisent ces phénomènes.

Le dimensionnement et l'extrapolation du réacteur nécessitent l'établissement d'un modèle mathématique comportant une théorie de l'absorption avec réaction physique en rapport avec la réalité et bien adapté à l'objectif visé.

De nombreuses opérations en génie chimique font intervenir la dispersion d'une phase gazeuse dans une phase liquide.

L'objectif de notre mémoire est la conception et la réalisation d'un réacteur gaz-liquide agité mécaniquement, d'étudier l'influence de plusieurs facteurs (agitation, débit gazeux, hauteur du lit liquide) sur la rétention gazeuse.

Notre manuscrit comprend un aperçu sur la théorie des phénomènes d'agitation ainsi que l'étude hydrodynamique des réacteurs gaz-liquide.

La partie expérience comprend quant à elle, la réalisation du contacteur gaz-liquide et l'interprétation des résultats obtenus à partir des expériences faites sur notre réacteur.

Chapitre I

*Etude hydrodynamique de réacteur gaz liquide agité
mécaniquement*

CHAPITRE I

ETUDE HYDRODYNAMIQUE DE REACTEUR GAZ-LIQUIDE AGITE MECANIQUEMENT

L'application de ce type de réacteur se rencontre dans les procédés de fermentation, d'aération d'eau résiduaire, d'oxydation, d'ozonation, etc... Le rôle de l'agitation est du point de vue physique, de créer une dispersion et du point de vue chimique de créer, une absorption du gaz dans le liquide.

I-1 PHENOMENE D'AGITATION

Les techniques d'agitation qui ont longtemps été considérées comme un art, s'appuient maintenant sur des considérations tant théoriques qu'expérimentales qui permettent une approche scientifique des problèmes posés.

Des progrès énormes ont, en effet, pu être réalisés grâce, d'une part à l'accumulation des données sur le fonctionnement d'unités industrielles et, d'autre part à l'effort de recherche important accompli par des sociétés et laboratoires universitaires spécialisés dans le domaine.

D'une façon générale la détermination d'une unité d'agitation consiste soit à sélectionner l'appareil adapté à un nouveau procédé, soit à extrapoler ou interpoler les résultats obtenus avec un appareil donné dans le cadre d'une fabrication existante.

I-1/1 Différents mobiles d'agitation et description géométrique des organes :

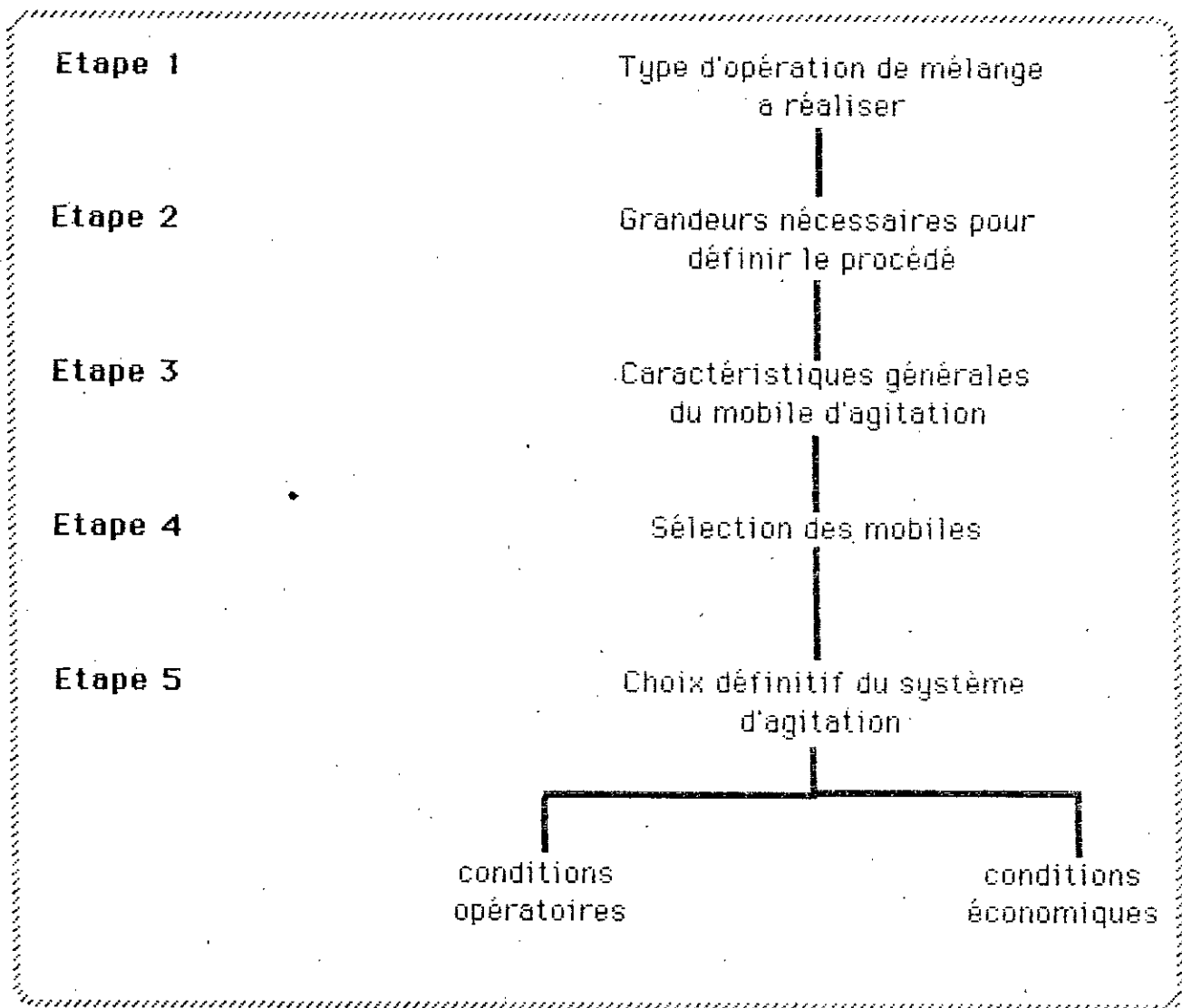
Il existe deux grandes classes de mobiles d'agitation suivant le mouvement des fluides engendré dans la cuve par rapport à l'axe de rotation du mobile.

I-1/2 Choix du mobile d'agitation :

Le choix du mobile d'agitation est déterminant pour l'économie d'une opération d'agitation à réaliser, le type de mobile doit être adapté à l'opération.

Les différentes étapes à entreprendre lors du choix définitif du mobile d'agitation sont résumées dans le tableau N°1.

TABLEAU N°1 : CHOIX DU MOBILE D'AGITATION



Il existe différents mobiles d'agitation à débit axial et à débit radial :

1-1/3 Mobiles à débit axial :

Ces mobiles créent un mouvement de fluide dans une direction axiale (vers le haut ou vers le bas).

Ils assurent une circulation importante du fluide; cependant certains mobiles présentent en plus de la composante axiale prépondérante, une composante radiale. (tableau N° 2)

1-1/4 Mobiles à débit radial :

Ces mobiles fournissent un débit perpendiculaire à l'arbre d'agitation. Ils créent des effets de cisaillement importants.

Ce sont des mobiles de turbulence, certains sont utilisés pour les produits visqueux et ont une composante tangentielle. (tableau N° 3)

Le régime hydrodynamique créé dépend non seulement du type de mobile d'agitation, mais aussi des facteurs géométriques concernant la cuve :

- * présence ou non de chicanes,
- * excentration de l'arbre,
- * inclinaison de l'arbre,
- * dimension de la cuve.

Pour chaque mobile, il existe donc une infinité de configurations possibles, il est évident que quelque soit le type de turbine, si la cuve n'est pas munie de chicanes et si l'axe de l'agitateur est confondu avec celui de la cuve, le liquide est mis en rotation et les composantes verticales de vitesses sont extrêmement faibles. Il y a par ailleurs formation d'un vortex qui présente l'inconvénient de ne pas favoriser l'homogénéisation des fluides et de limiter la puissance dissipée.

La présence de chicanes fixées sur les parois de la cuve empêche la formation d'un vortex.

Pour éviter la formation de vortex dans les cuves exemptes de chicanes, on monte l'arbre d'agitation excentré mais vertical ou bien incliné par rapport à la verticale. (Figure N° 1)

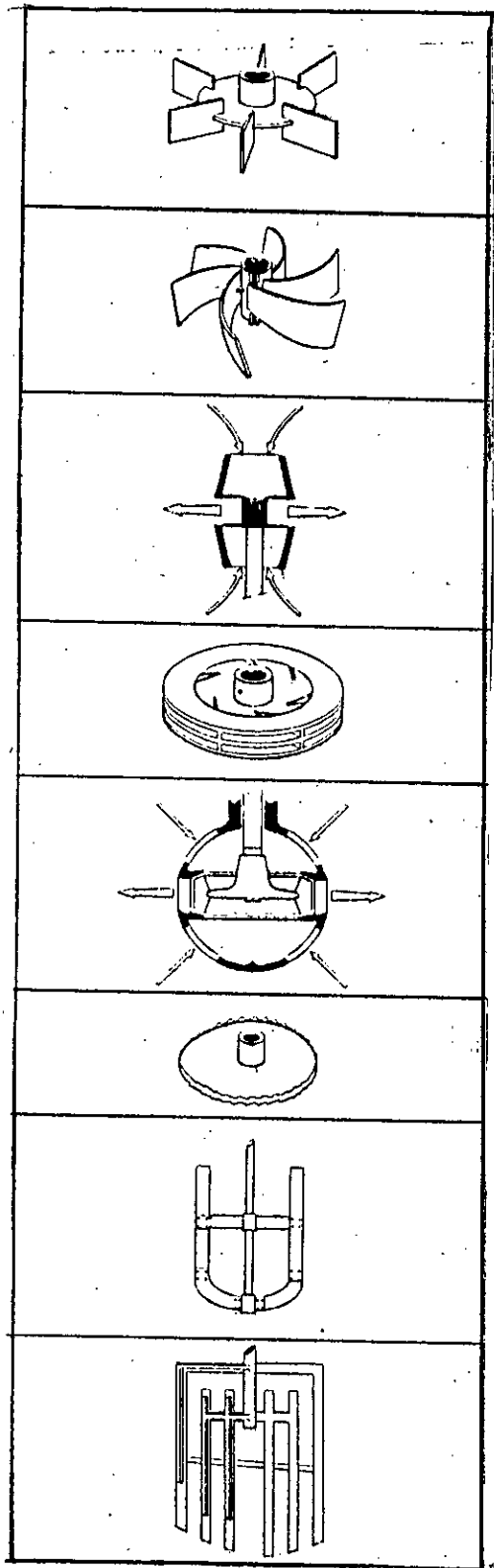


Tableau N°3 Débit radial

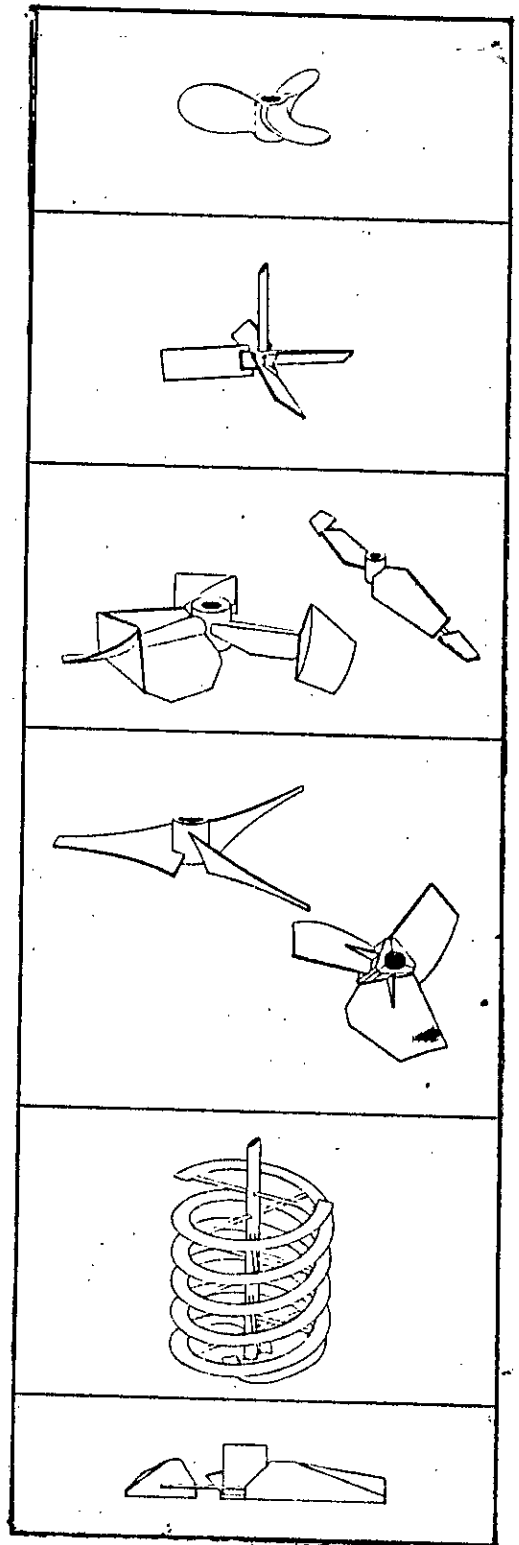


Tableau N°2 Débit axial

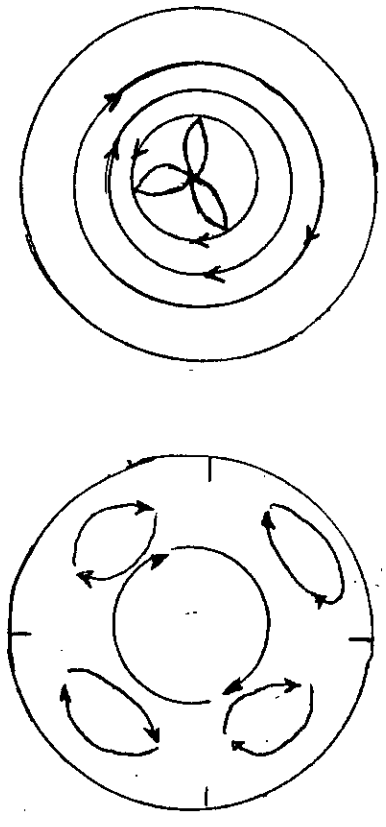
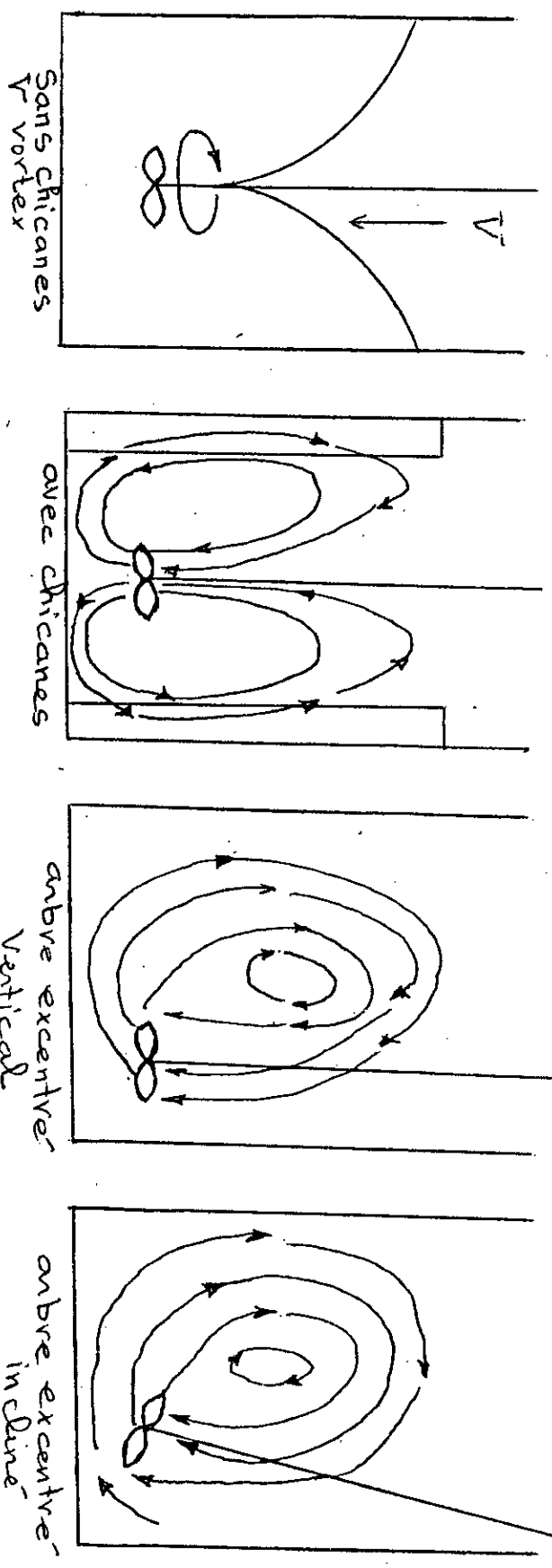


Figure N° 1 - Formes des courants créés par un mobile et débit axial

Il est important de noter que ces deux dernières dispositions induisent des contraintes mécaniques importantes et ne sont donc pas utilisables pour de fortes puissances (3 Kw) ou de grandes longueurs d'arbres (1 à 2 mètres).

Lorsque l'on a de grands réservoirs, de 150.000 à 200.000 M³ de volume, contenant des liquides de faible viscosité, inférieur à 0,1 pa.s, on place l'arbre d'agitation horizontalement et un peu incliné par rapport au rayon (angle θ) (figure N° 2)

I-2 REACTEURS GAZ LIQUIDE A CUYE AGITEE MECANIQUEMENT :

Les réacteurs à cuve agitée mécaniquement dans lesquels la phase gazeuse est dispersée au moyen d'un distributeur et d'un agitateur sont utilisés dans de nombreux procédés chimiques, biologiques et pharmaceutiques (fermentation, hydrogénation, ozonation, chloration).

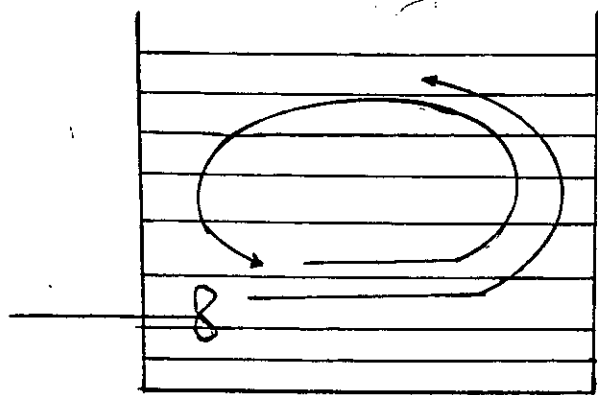
La conception et le fonctionnement dans des conditions optimales de ces réacteurs nécessitent une bonne connaissance de l'hydrodynamique et des transferts de matière et chaleur.

La dispersion d'une phase gazeuse dans une phase liquide peut être facilement réalisée en introduisant le gaz dans le liquide par un ou plusieurs orifices (aiguilles, anneaux perforés, plateaux perforés, etc...) situés sous l'agitateur dans le cas d'une cuve à agitation mécanique.

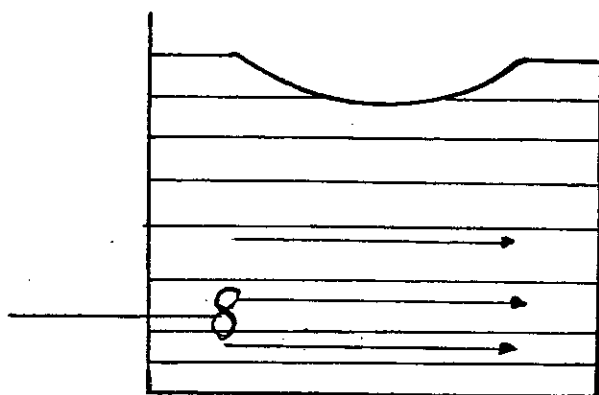
L'agitation mécanique permet de disperser la phase gazeuse, d'augmenter le temps de contact des bulles avec le liquide, d'accroître d'éventuels transferts thermiques avec les parois ou un serpentin et éventuellement de maintenir une troisième phase solide en suspension.

Les contacteurs gaz liquides à cuve agitée sont généralement utilisés pour l'absorption des gaz relativement peu solubles, absorption suivie le plus souvent de réaction chimique.

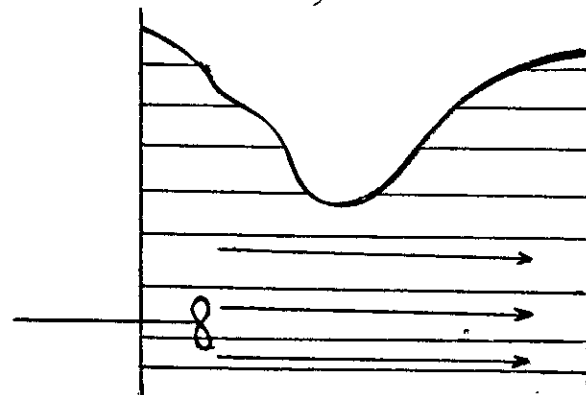
Ils permettent des opérations difficiles, voire impossibles à réaliser dans des colonnes à garnissage ou à plateaux.



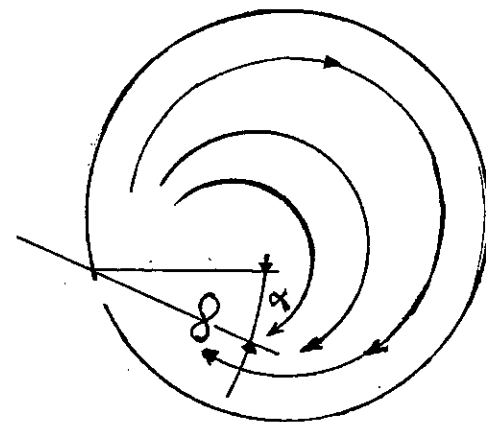
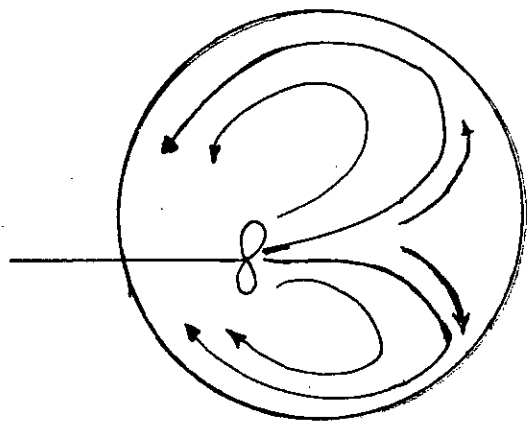
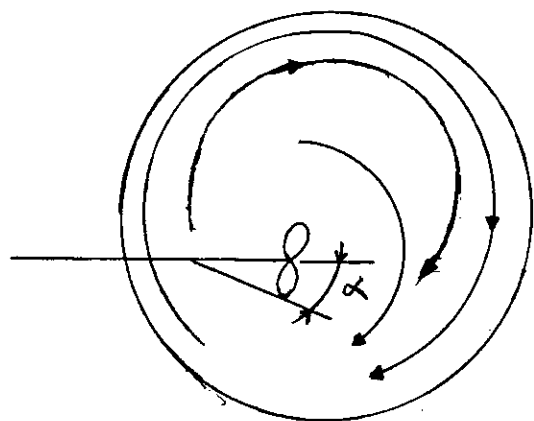
a



b



c



a : Position correcte $7 < \alpha < 12^\circ$
 b-c : Positions incorrectes (car la valeur de α n'est pas respectée), formation de vortex

Figure N° 2 Agitation de grands réservoirs

Parmi les paramètres hydrodynamiques importants :

- * La vitesse minimale d'agitation efficace, qui admet différentes définitions selon les auteurs, représente la vitesse minimale de rotation de l'organe d'agitation, correspond à un certain état hydrodynamique de la dispersion.
- * La puissance d'agitation du liquide clair (P_0) dont la connaissance est indispensable pour évaluer la puissance à installer, propre à assurer le démarrage du réacteur, intervient dans la corrélation de la puissance (P_a) consommée en milieu "aéré".
- * La puissance d'agitation dissipée dans la dispersion (P_a) permet dans une certaine mesure de corréler les autres grandeurs caractéristiques.
- * Le taux de rétention de la phase gazeuse conditionne le temps de séjour du gaz dans les réacteurs et qui joint l'aire interfaciale, permet de déterminer le diamètre moyen en surface de la dispersion de la bulle
- * Le diamètre moyen en surface de la bulle de la dispersion qui conditionne en partie le coefficient de transfert de matière, le taux de sélectivité éventuel de réacteur complexe.

1-2/1 Mécanisme de la dispersion du gaz sur une "turbine RUSHTON"

Les premières études importantes dans ce domaine ont été réalisées par **RENNIE**, (1966) qui ont notamment montré par photographie de liquide coloré que la plus grande partie du transfert de matière s'effectue dans la zone la plus turbulente à la périphérie de l'agitateur.

Des études récentes de **VAN RIET** (6) (1973-1975a - 1975b-1976) et **BRUIJN** 1974, menées également par des méthodes cinématographiques sont venues compléter la compréhension du phénomène.

Lors de l'écoulement du liquide seul autour d'une turbine de type RUSHTON il apparaît derrière chaque pale une paire de vortex avec selon le sens de rotation, une zone d'arrêt devant la pale, et une zone de dépression derrière celle-ci (fig 3)

*A faible débit de gaz, celui-ci est aspiré au voisinage des vortex, rempli l'oeil de ces derniers et forme des cavités dites de vortex, ces cavités modifient peu la puissance d'agitation.

*Si on augmente le débit gazeux, ces cavités prennent de l'importance et adhèrent à la pale. On a alors des cavités adhérentes qui réduisent progressivement la puissance consommée au fur et à mesure de leur croissance.

Ce régime est relativement instable et les cavités adhérentes laissent progressivement la place aux grosses cavités stables, qui sont les plus efficaces, du point de vue de la dispersion du gaz, ces cavités larges ne se forment pas simultanément, mais occupent successivement les différentes pales.

*A débit de gaz élevé ou à faible vitesse d'agitation, l'organe d'agitation peut être enveloppé par le gaz. Il ne circule plus dans le liquide et devient inefficace. Ce phénomène est appelé engorgement, par certains auteurs.

Du point de vue de l'écoulement global du gaz, les bulles au sein de l'émulsion subissent également, l'influence de l'attraction de la dispersion créée derrière les pales de l'agitateur. Ces vieilles bulles peuvent donc coalescer avec les cavités et être dispersées.

Les expériences de **VAN RIET et COLL** (1976) confirment le fait, qui n'avait jamais été mis en évidence jusqu'ici.

°Si on complète le schéma proposé par ces auteurs, pour la recirculation du gaz on peut également proposer l'écoulement global de la phase gazeuse (fig 4).

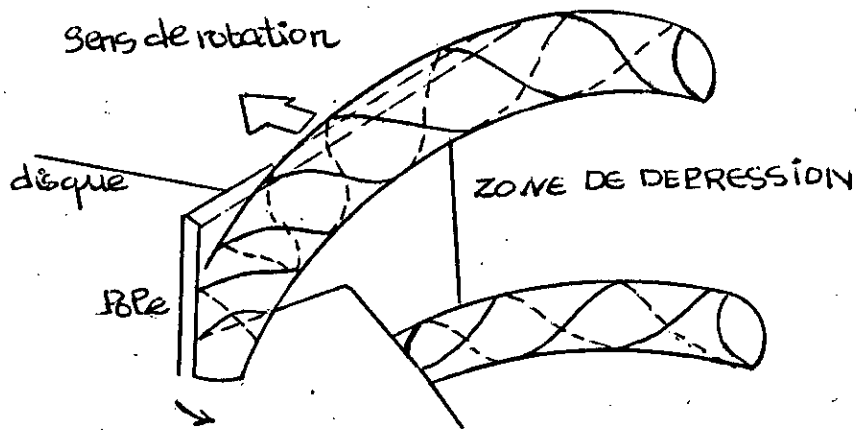
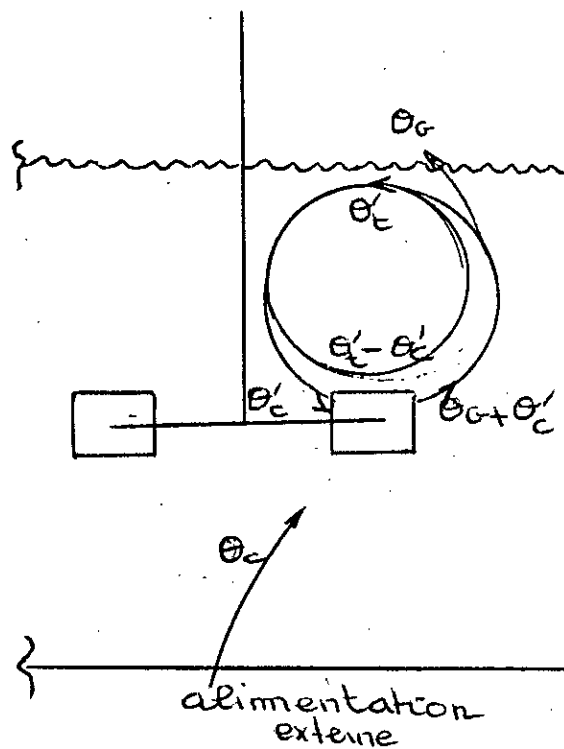


Figure N° 3 Mécanisme de la dispersion



θ'_c : débit de circulation

θ'_g : débit gazeux.

θ'_c : Coalescence avec les cavités $\rightarrow \theta_g + \theta'_c$

Figure N° 4 Schéma global de l'écoulement

Le débit de recirculation total $Q^* t$, une partie $Q^* c$ coalesce avec les cavités dont le débit est $Qg + Q^* c$, bien entendu cette description est idéalisée car il se forme également une boucle de circulation dans la partie inférieure de la cuve et le transfert du gaz d'une partie à l'autre vient compliquer ce modèle.

Toutefois, si la recirculation est suffisamment importante, elle justifie l'approximation de un ou deux réacteurs parfaitement agités en série, pour représenter la distribution du temps de séjour du gaz (un ou deux suivant l'importance relative de la boucle inférieure vis à vis de la boucle supérieure).

Il est classique d'invoquer ces modèles de collision pour expliquer la plus ou moins grande ségrégation des bulles d'une dispersion.

Cette explication n'est ici, que partiellement vraie et peut être même fortement erronée.

Tous les modèles classiques de collision-dispersion entre les bulles sont ici physiquement faux.

En fait comme le montre le schéma, la plus grande partie de l'homogénéisation se produit par contact direct avec le gaz.

$Q^* c$ et Qg , La coalescence entre bulles au sein du réacteur dans de nombreux cas étant négligeable.

1-3 FORMATION DE LA BULLE PAR UN ORIFICE SIMPLE :

Une bulle est un globule de gaz ou de vapeur entouré par un film fin de liquide, Il est à signaler que l'agrégation des bulles possède une vie statique fixe. Les bulles peuvent être créées de trois manières différentes;

- *Elles peuvent être le résultat de la super saturation d'une solution de gaz ou la décomposition d'un constituant liquide.
- *Elles peuvent être introduites directement par un jet d'air ou par entraînement mécanique.
- *Elles peuvent être créées par la désintégration de grosses bulles.

La génération spontanée des bulles d'un gaz ou d'une vapeur à partir d'un liquide homogène est, théoriquement impossible.

La bulle est un noyau gazeux qui forme un vide, ce vide peut résulter d'une cavitation mécanique ou acoustiquement induite.

La formation des bulles par un seul orifice est un processus qui suit trois régimes de production, à commencer par celui de la bulle unique ou les bulles sont produites une à une et leurs tailles $\{db\}$ dépendent du diamètre de l'orifice $\{d\}$ de la tension interfaciale, de la masse volumique du liquide et de celle du gaz, de l'accélération de la pesanteur.

Puis vient le régime intermédiaire dont la valeur du Re est comprise entre 100 et 200.

Lorsque le flux gazeux croît, jusqu'à dépasser le seuil du premier régime la fréquence de formation des bulles croît plus lentement et le diamètre commence à croître.

On arrive enfin à un régime appelé régime de jet ou il y a désintégration des bulles en d'autres plus petites.

1-4 GRANDEURS CARACTERISTIQUES (8),(9)

1-4/1 Géométrie d'un système d'agitation :

Lors des travaux sur l'agitation, **RUSHTON** a défini une cuve dite standard, les dimensions de cette cuve sont :

*Diamètre de la cuve = hauteur du liquide, soit $D = H$

*Diamètre du mobile d'agitation $d = D/3$

*Hauteur du mobile par rapport au fond de la cuve $y = d = D/3$

*chicane de largeur $b = 10-1D$ collée ou décollée de la paroi

I-4/2 Analogie avec la mécanique des fluides :

En mécanique des fluides, l'écoulement du fluide de vitesse U (m/s) de masse volumique ρ (Kg/m³), de viscosité dynamique η (pa.s) dans un diamètre d , est caractérisé par un nombre Reynolds tel que :

$$Re = \frac{U d}{\eta} \quad (1)$$

ou U : vitesse d'écoulement

η : viscosité cinématique

$$\delta = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

d : diamètre de la conduite

Pour un mobile d'agitation de diamètre donné d , tournant à une vitesse N , la vitesse périphérique est proportionnelle à Nd d'où;

$$Re = \frac{Nd^2}{\delta} \quad (3)$$

Selon la valeur du Re , trois régimes hydrodynamiques se distinguent : Laminaire, Intermédiaire et Turbulent.

Le régime laminaire se traduit par l'absence de mouvement du fluide dans une direction différente de celle imposée par le mobile d'agitation, le seul mélange qui peut se faire entre les couches parallèles au courant est dû uniquement à la diffusion moléculaire et demeure indépendant de la puissance fournie qui d'ailleurs est dissipée sous forme de chaleur.

Le régime turbulent se caractérise par des mouvements dans toutes les directions, donc un bon mélange des filets fluides.

I-4/3 Débit de pompage et de circulation :

a/ *Débit de pompage*, le débit de pompage Q_p est le débit de liquide qui passe effectivement par le mobile d'agitation.

Il est proportionnel à la vitesse $Q_p = N_{qp} Nd^3$ (4)

Le coefficient de proportionnalité N_{qp} est appelé nombre de pompage. Il est fonction du type de mobile d'agitation et du régime hydrodynamique. Dans le cas du régime turbulent N_{qp} peut être considéré comme constant.

b/ Débit de circulation, le débit de pompage induit dans le volume de la cuve par transfert de quantité de mouvement, un débit d'entraînement Q_e .

Le débit de circulation Q_c est la somme du débit d'entraînement Q_e et du débit de pompage

$$Q_c = Q_e + Q_p \quad (5)$$

On admet que quelque soit le type d'agitation le rapport $\{ Q_c/Q_p \}$ est à peu près constant et vaut 1,8 on pourra définir un nombre de circulation,

$$N_{qc} = \frac{Q_c}{Nd^3} = 1,8 N_{qp} \quad (6)$$

1-4/4 Puissance dissipée :

importante
élément La puissance nécessaire à l'entraînement d'un mobile d'agitation est un élément important, puisqu'elle permet de choisir le type de moteur à installer et de comparer sur le plan de la consommation d'énergie, les performances de plusieurs mobiles.

Dans la littérature on trouve relativement peu de résultats utilisables pour la prédiction de la puissance consommée par un agitateur tournant dans un mélange liquide gaz.

Un certain nombre d'études ont cependant été réalisées depuis une vingtaine d'années mais, d'une part elles s'appliquent en général à des cuves de faible volume, d'autre part elles sont difficilement comparables entre elles.

Ces difficultés de comparaison proviennent le plus souvent des différences géométriques (comme le rapport, hauteur de liquide / diamètre de cuve) ou bien du type de l'impulseur utilisé.

Certains auteurs **BATES (C)** **MOO YONG (N)** recommandent d'orienter les recherches vers le calcul et le choix d'agitateurs, qui permettent d'utiliser la puissance dissipée d'une façon plus efficace.

Il est bien connu, **FINN (D)**, **CALDERBANK (E)**, **DE MAILLARD (F)**, que l'agitateur le mieux adapté à la dispersion d'un gaz dans un liquide est le disque à pales plates dont les caractéristiques de puissance sont par ailleurs bien établies : **RUSHTON (G)**, **CALDERBANK (H)**, **BATES (C)**.

Les premières études de l'agitation en milieu aéré remontent à 1944, **COOPER, FERNSTROM** et **MILLER (I) - FOUST, MACK** et **RUSHTON (J)** mais elles ont été réalisées, au moins en partie, avec des impulseurs d'un type assez peu répandu.

De même, en 1955, **KALINSKE (K)** a présenté des résultats obtenus avec une turbine à pales plates; mais les dimensions de son impulseur interdisent toute comparaison avec des modèles standards.

En 1955 également, **OYAMA** et **ENDOH (A)** ont publié une étude systématique de l'agitation en milieu aéré et testés plusieurs types d'agitateurs, **CALDERBANK (E)** en 1958 a tenté de corréliser ses propres résultats sous la forme décrite par **OYAMA (A)**.

Enfin en 1962, **MICHEL** et **MILLER (B)** ont obtenu une corrélation entre la puissance consommée de l'agitateur en milieu aéré et la puissance consommée à la même vitesse de rotation en milieu non aéré, le débit d'air injecté, la vitesse de rotation et le diamètre de l'agitateur.

Cependant, ces auteurs indiquent eux mêmes que leur formule n'est sans doute valable que dans une zone étroite de dimensions de cuve; et qu'elle doit être utilisée avec beaucoup de précautions lors de changement d'échelle.

MICHEL et **MILLER (B)** sont en fait avec **OYAMA** et **ENDOH (A)**, les seuls auteurs à avoir publié des résultats dans des conditions que l'on peut considérer comme standard lorsqu'il s'agit de disperser du gaz dans un liquide.

1-4/5 Définition de la vitesse d'engorgement :

A débit d'air constant, si p/v décroît de plus en plus les bulles sont ainsi formées et l'agitateur est de moins en moins capable de les disperser. A la valeur pf_1/v (Figure 5)

L'écoulement change soudainement, les bulles ne sont plus au dessus et autour du mobile d'agitation, de grosses bulles rejoignent alors la surface, cet état est appelé engorgement.

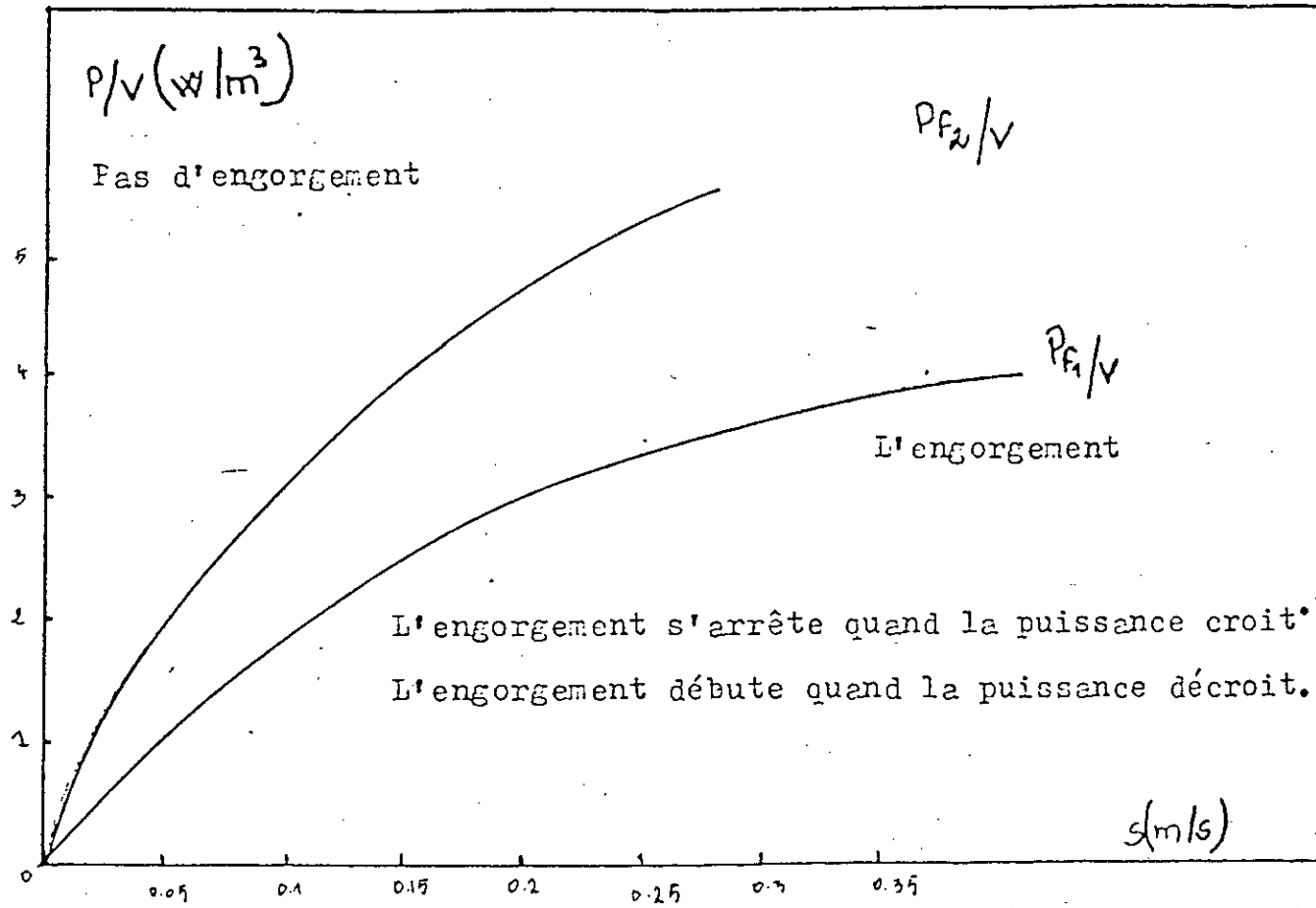


FIGURE N° 5 : Description DE L'engorgement

Le retour aux conditions de non engorgement implique une croissance de la puissance jusqu'à la valeur $\{ pf2/v \} > \{ pf1/v \}$, à ce moment l'engorgement cesse brusquement, la rétention décroît quand l'engorgement commence.

1-4/6 La vitesse minimale d'agitation :

Il est nécessaire de noter l'existence d'une grandeur très souvent employée qu'est la vitesse minimale d'agitation ou, vitesse critique d'agitation. Cette vitesse délimite deux régimes de fonctionnement du réacteur:

Pour $N > N_0$ le taux de rétention varie linéairement en fonction de la vitesse d'agitation et les bulles sont dispersées dans tout le réacteur.

Pour $N < N_0$ les bulles ne sont pas dispersées par le mobile d'agitation et s'enroulent même autour de celui-ci, le réacteur fonctionne en court circuit.

1-5 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE - RETENTION :

Le taux de rétention du gaz peut être déterminé par différentes méthodes selon de nombreux auteurs (1),(2),(3)

* **LOISEAU** (2) a utilisé une sonde à niveau, basée sur le principe des vases communicants, cette sonde est constituée de deux tubes en verre concentriques avec trois rangées de neuf trous, pour chaque tube. Les trous sont placés de telle manière qu'ils ne soient pas l'un en face de l'autre.

La hauteur du système gaz liquide est lue sur un tube en U relié à la sonde par un siphon.

* **LINEK** et **MAYRHOFEROVA** (5), ont déterminé l'élévation de niveau à l'état gazeux à l'aide d'une sonde conductrimétrique. Ils ont effectué un relevé planimétrique de la surface libre, ce qui a permis d'obtenir par intégration une valeur moyenne du taux de rétention.

* **FOUST** et **COLL** (3) utilisent un dispositif composé de deux tubes concentriques percés et reliés à une cuve de niveau. Le dispositif permet de faire un relevé comme dans le cas précédent.

Pour ce qui est des corrélations, il existe peut de corrélation de X dans la littérature.

L'évolution du taux de rétention avec les paramètres de fonctionnement est assez complexe pour rendre difficile sa représentation.

De plus c'est une grandeur qui est relativement peu commode à mesurer avec précision.

Les relations proposées ne représentent le plus souvent qu'une partie du domaine de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation, elles sont de trois types :

- **VAN DIERDONCK** et **COLL** (3) essaient de représenter la partie affinée de la rétention, en fonction de la vitesse d'agitation.

$$X \approx \{ N - N_{vd} \} \quad (7)$$

où N_{vd} : vitesse selon **VAN DIERDONCK**

et pour déterminer N_{vd} :

$$N_{vd} = 0,07 \times d \times \sqrt{gd} / 22 \text{ si } d < 1 \text{ m} \quad (8)$$

- d'autres auteurs font appel à l'analyse dimensionnelle et corrélent $\bar{\alpha}$ en fonction de divers nombres addimensionnelles et notamment du nombre de **WEBER**.

$$(\text{WEBER}) : We_a = \frac{\Delta L N^2 L^3}{\Delta L} \quad (9)$$

△ tension superficielle du liquide

Cherchant à mettre en évidence l'influence de la tension superficielle sur le diamètre des bulles et donc sur X .

Enfin on cherche de plus en plus à utiliser l'énergie mécanique dissipée dans le fluide pour corréler les paramètres secondaires de fonctionnement.

Effectivement, si l'agitation est suffisante pour que l'on puisse admettre les hypothèses de **KOLMOGOROFF**, relatives à la turbulence isotrope et si on admet la composante quadratique de vitesse fluctuante fournie par **BATCHELOR**,

$$\bar{U}_2 = \left(\frac{d}{f_L} \right)^{2/3} \Sigma a^{2/3} \quad (10)$$

\bar{U} = moyenne quadratique de la composante de vitesse fluctuante

d = diamètre de bulle

Σa = énergie mécanique dissipée par unité de volume de liquide.

On en déduit selon **HINZE** (3), le diamètre maximal des bulles qui peut exister dans un champ de turbulence donné.

$$d \text{ max. } \approx (f_L)^{0.6} / (\Sigma a)^{0.4} \quad (11)$$

Un tel raisonnement, même si certaines de ces hypothèses sont trop simplistes plaide en faveur de l'utilisation de l'énergie mécanique dissipée pour corrélérer les paramètres caractéristiques des réacteurs agités à bulles.

Chapitre II

Installation et techniques de mesure

CHAPITRE II

INSTALLATION ET TECHNIQUES DE MESURE

II-1 Installation expérimentale (1), (2), (9)

Nous avons réalisé le dispositif expérimental avec les moyens techniques et matériels qui nous furent accessibles et qui parfois se sont avérés insuffisants pour pouvoir mener à bien notre étude.

L'installation expérimentale est composée essentiellement :
(schéma général de l'installation (figure 6))

- Une cuve
- Un mobile d'agitation
- Un système d'introduction de l'air, le diffuseur
- Un diaphragme

II-1/1 La cuve : La cuve a été réalisée en plexiglas pour nous permettre de visualiser sans peine les phénomènes d'agitation et de dispersion du gaz.

Nous avons muni notre cuve de quatre chicanes en plexiglas pour éviter le volume mort et la formation du vortex en cas de grande vitesse de gaz, (figure 7).

II-1/2 Le diffuseur : Il sert à introduire et à prédispenser le gaz dans la cuve; Il existe plusieurs types de diffuseurs, nous avons prévu un diffuseur à orifice simple de 20 mm de diamètre.

II-1/3 Le gaz : l'air qui alimente notre réacteur provient d'un compresseur.

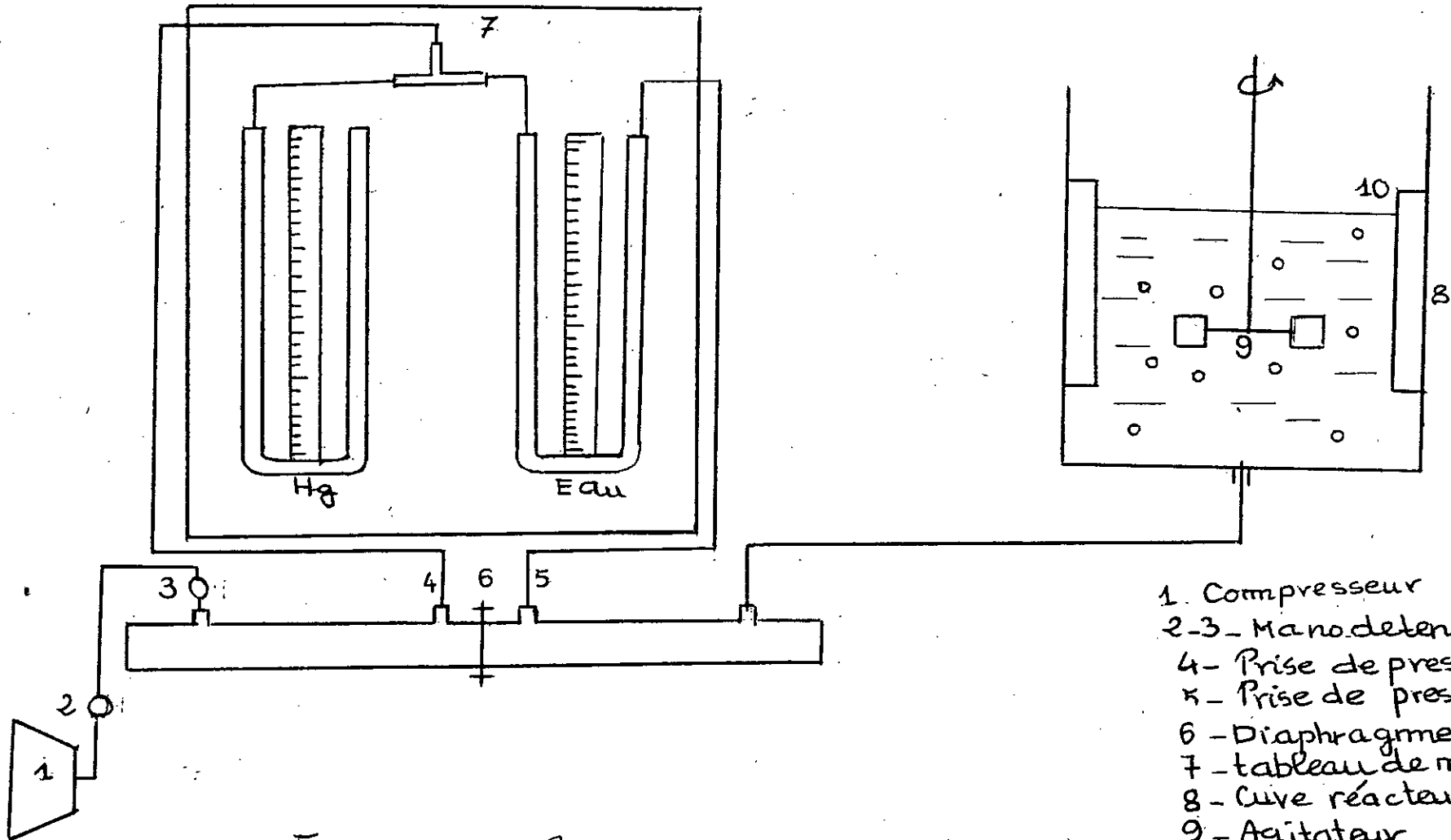


Figure-6 - Schéma de l'installation

- 1. Compresseur
- 2-3 - Manodetendeur
- 4 - Prise de pression en amont
- 5 - Prise de pression en aval
- 6 - Diaphragme
- 7 - tableau de mesure
- 8 - Cuve réacteur
- 9 - Agitateur
- 10 - Chicanes

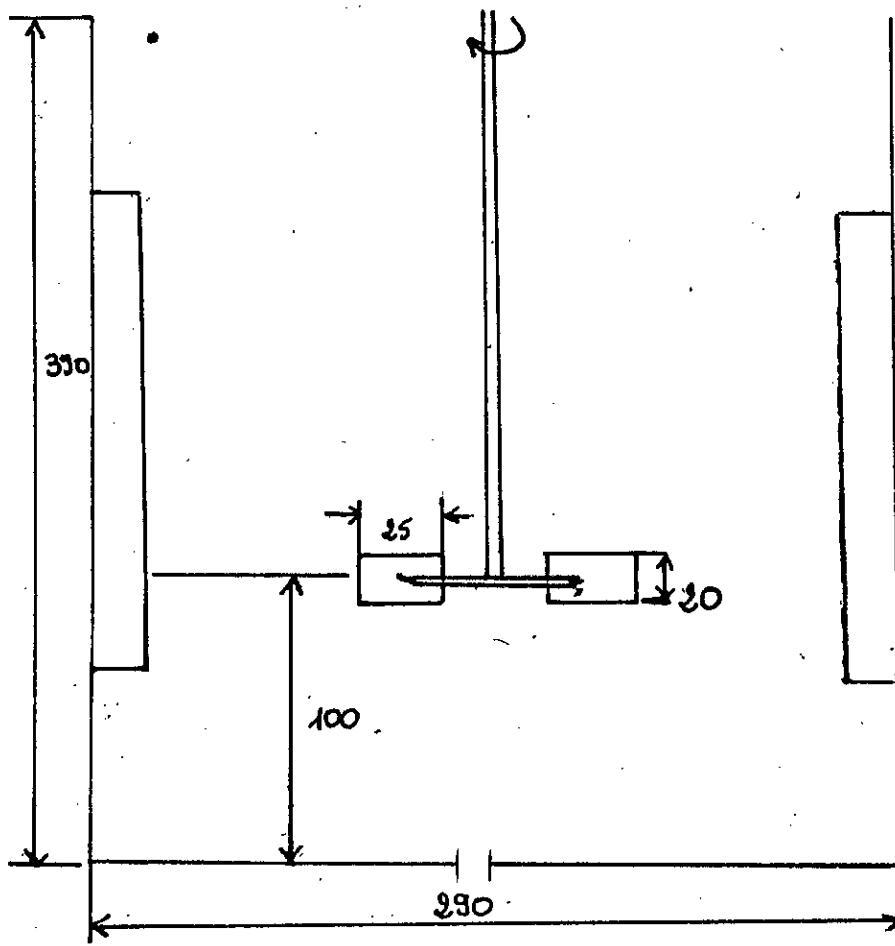


Figure N° 7 Schéma de La Cuve.

II-1/4 Le mobile d'agitation : Ce mobile d'agitation a été choisi après une synthèse bibliographique, il obéit aux normes dites standards. c'est une turbine à six pales plates appelée "turbine de RUSHTON " usinée en acier classique, munie en son centre, d'un axe de support (figure 8)
Dimensions normalisées :

$$\begin{aligned} d &= D/3 &= 96,67 \approx 100 \text{ mm} & \text{diamètre extérieur} \\ l &= d/4 &\approx 25 \text{ mm} & \text{longueur des pales} \\ w &= d*0,2 &= 20 \text{ mm} & \text{hauteur des pales} \end{aligned}$$

II-1/5 Le moteur : L'entraînement a été assuré par un moteur électrique asynchrone, de 500 - 2000 tr/mn. à vide.
500 - 1400 tr/mn en charge

II-2 TECHNIQUES DE MESURES :

Les publications concernant la détermination des paramètres intervenants dans la conception des réacteurs agités gaz liquide ont été nombreuses.

Il est nécessaire de remarquer la grande diversité des résultats obtenus vu la diversité des appareils, des méthodes ou des produits utilisés.

Nous avons choisi lors de notre étude expérimentale des méthodes de mesures des différents paramètres assez simples.

II-2/1 Mesure du débit gazeux :

On mesure le débit gazeux à l'aide d'un organe déprimogène, le diaphragme est un joint mince plein, de 5 mm d'épaisseur, percé d'un trou dont le centre coïncide avec l'axe de la conduite, le diamètre du diaphragme est 20 et le diamètre extérieur 65 mm (figure 9, 10)

A la traversée du diaphragme, la veine du fluide se contracte et la contraction maximale ne se produit pas dans le même plan du diaphragme, mais un peu en aval à une distance variable d'ailleurs avec le rapport des sections libres du diaphragme et de la conduite, conformément à la formule de **BERNOULLI**,

La pression varie en sens inverse de la vitesse.

La figure (11) montre la variation de la pression le long d'une conduite sur laquelle est monté un diaphragme.

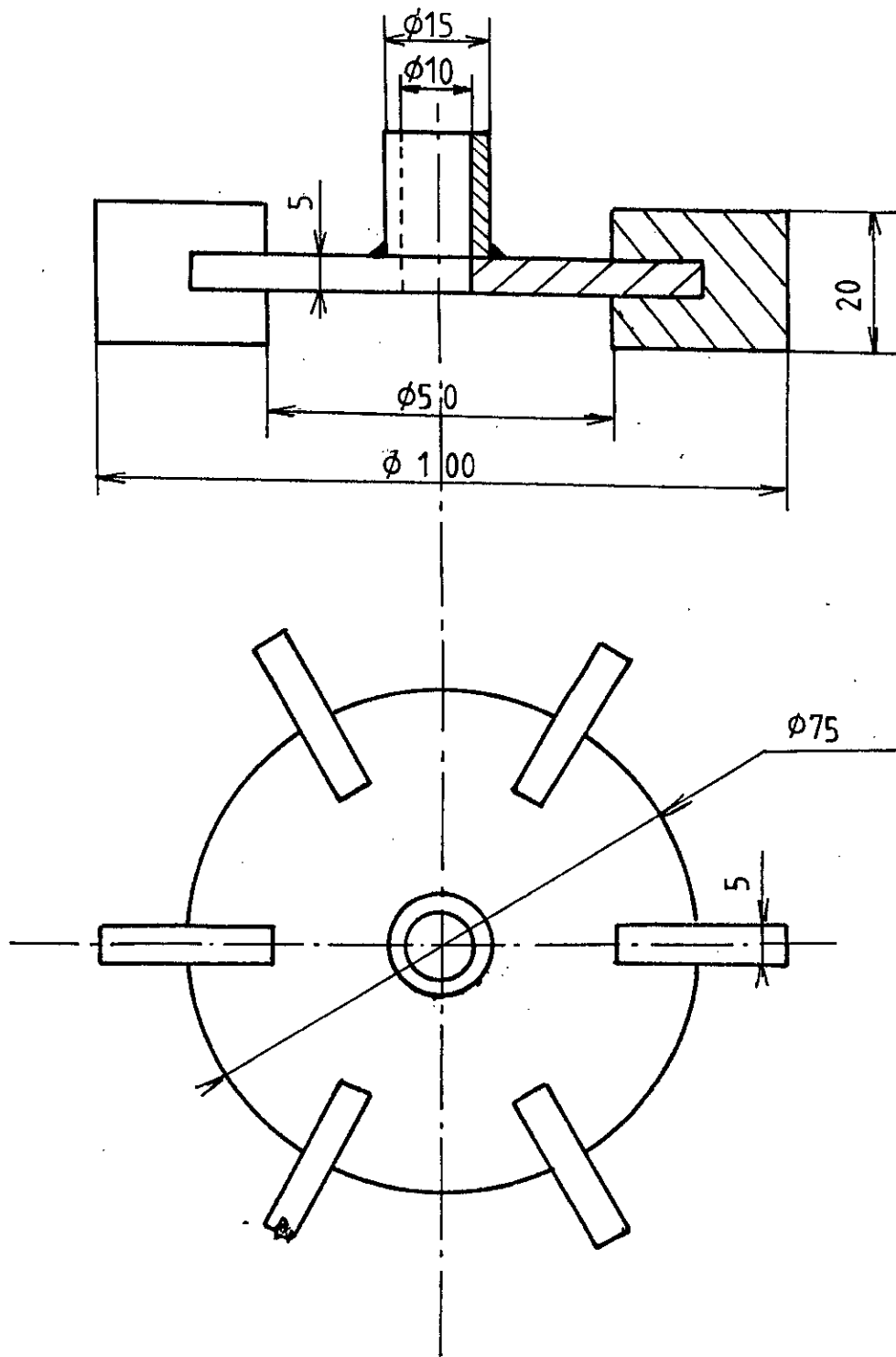


Figure N° 8 schéma de l'agitateur

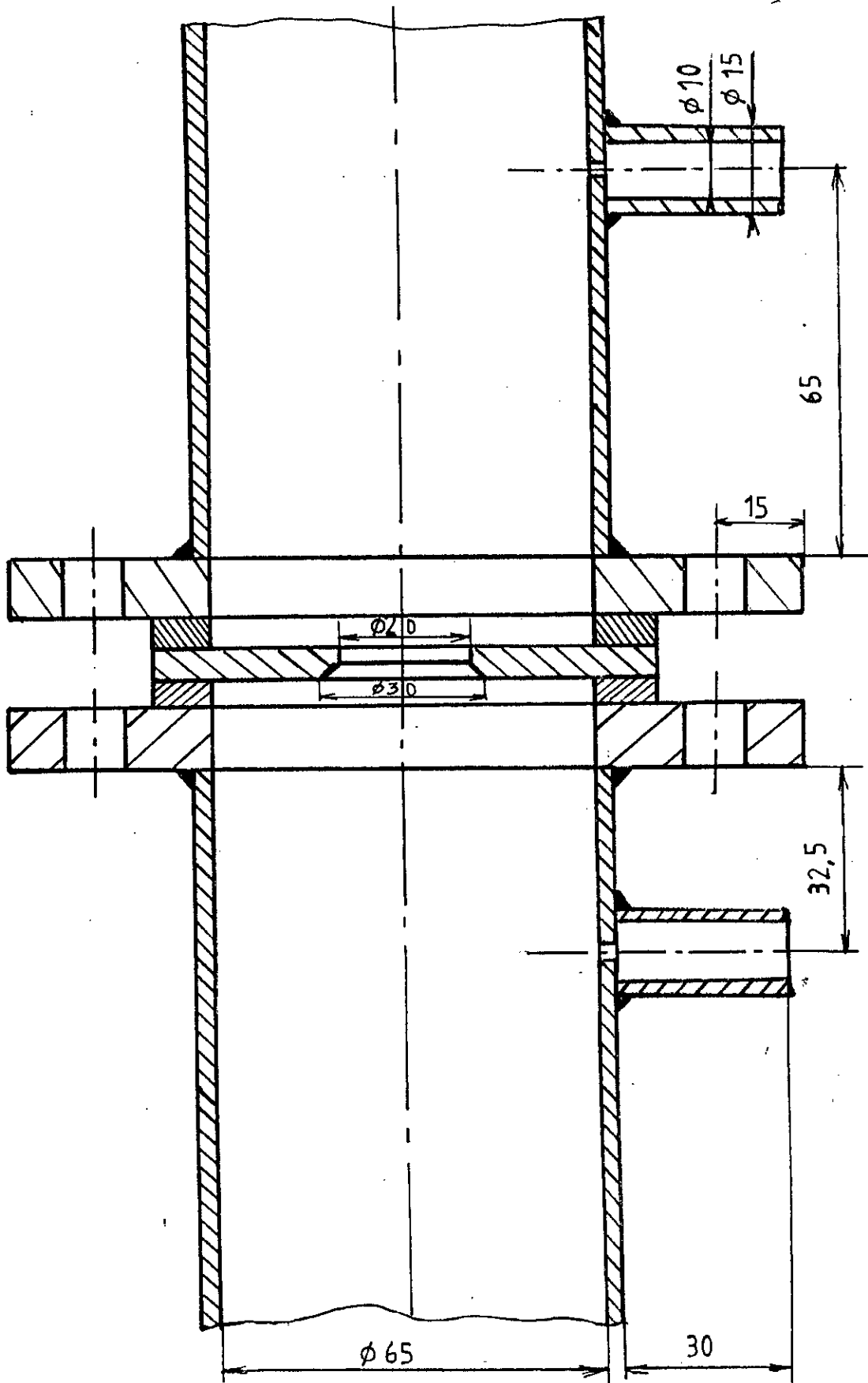


Figure N^o 9 schéma generale de l'installation
 du diaphragme

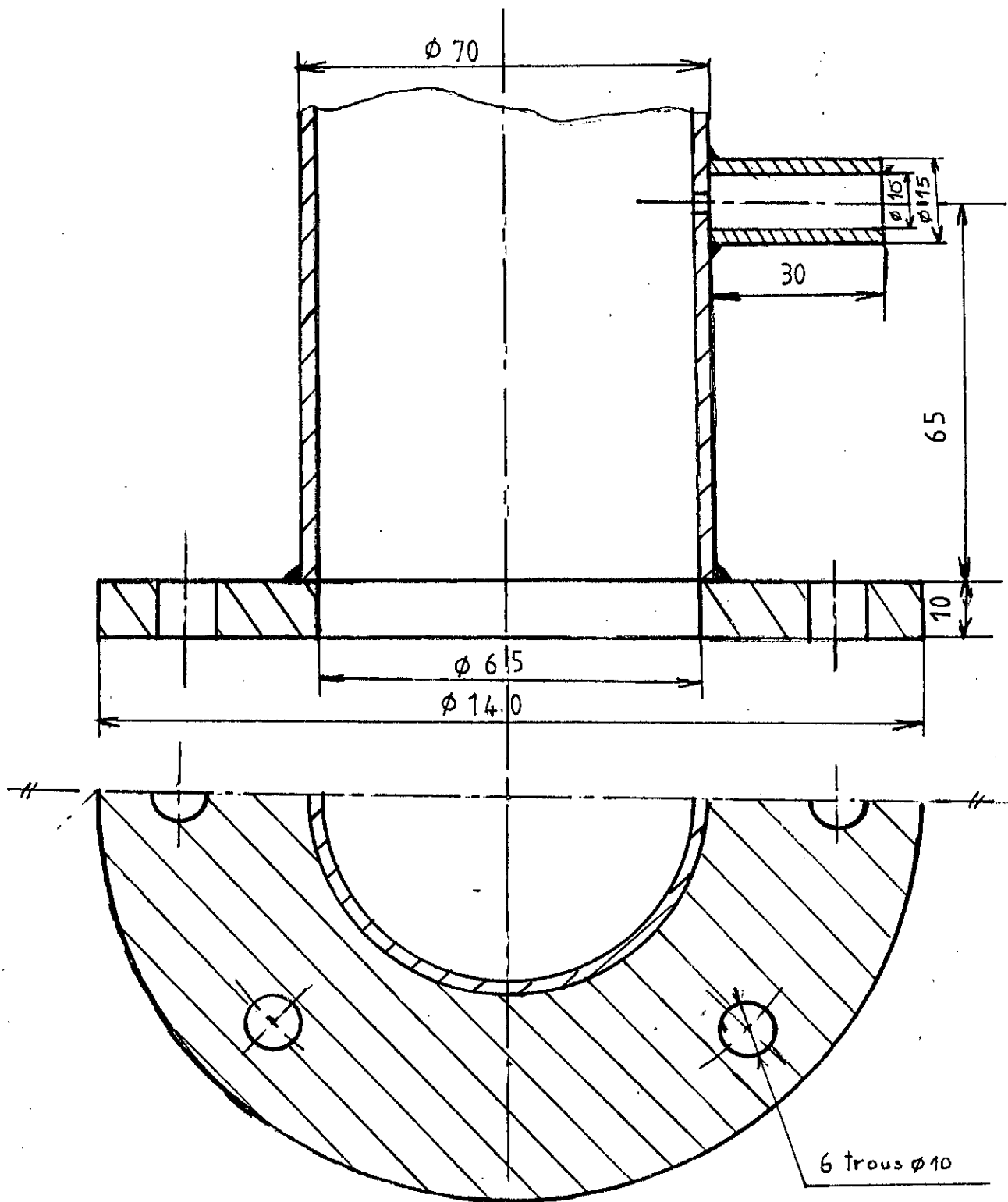
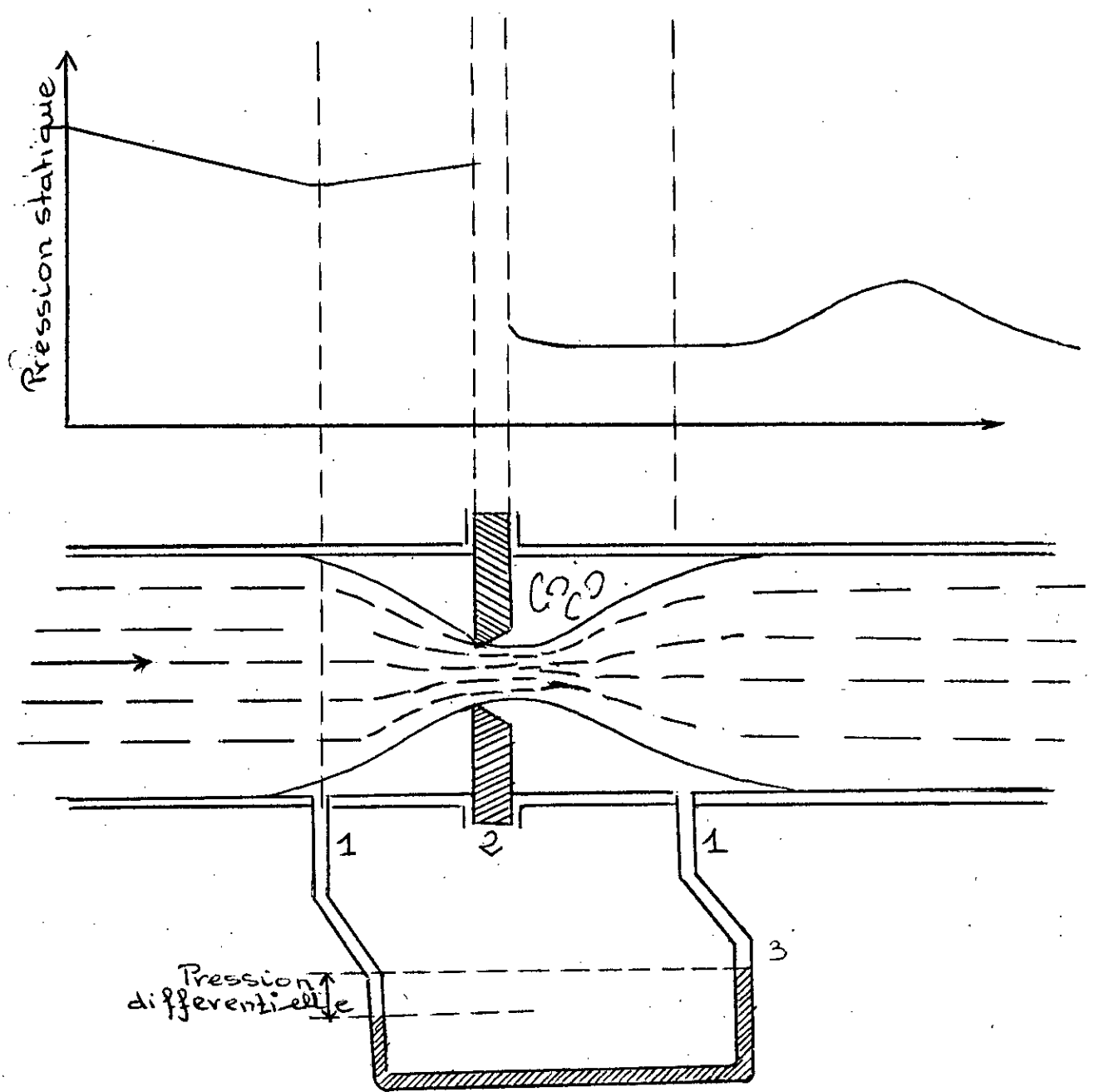


Figure N° 10 "Schéma de la conduite avec bride"



- 1- prise de pression
- 2- diaphragme
- 3- manometre

Figure N° 11 Profil de la veine du fluide dans un diaphragme

La pression différentielles utilisée pour le calcul du débit dépend donc de l'emplacement utilisé de façon courante. (normes internationales)

Nous avons opté pour la section contractée "vena contracta".

La masse volumique du fluide entre l'amont et l'aval de sorte que l'équation de **BERNOULLI** s'écrit

$$\frac{V_1^2}{2} = \frac{V_2^2}{2} + \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{\rho} \quad (12)$$

et la pression différentielle relative s'écrit :

$$x = \frac{P_2 - P_1}{P_1} = \frac{DP}{P} \quad (13)$$

et le coefficient de détente pour le diaphragme est :

$$\Sigma = 1 - (0.41 + 0.35 \beta^4) \frac{x}{\gamma} \quad (14)$$

ou $\beta = D/d$ D : diamètre du diaphragme extérieur

d : diamètre du diaphragme intérieur

$\gamma = 1,14$ rapport des capacités thermiques à TPN

La formule du coefficient de détente n'est valable que si :

$$p_2/p_1 \geq 1$$

La formulation générale du débit est :

$$Q_m = \partial \Sigma \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 DP} \quad (15)$$

$$Q_v = Q_m \quad (16)$$

Q_m : débit massique

Q_v : débit volumique

$$\partial = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad C : \text{coefficient de décharge} \quad (17)$$

En raison de l'interdépendance des divers paramètres $\partial, \Sigma, \beta, C$

Il convient, après manipulation algébrique convenable, d'adopter une valeur estimée de la grandeur à calculer et de procéder par approximations successives jusqu'à ce que l'écart entre deux résultats se limite à une valeur acceptable.

La méthode utilisée est la méthode d'itération.

$$\beta = \left(Q_m \times \sum \frac{\Pi}{4} D^2 \sqrt{2 D P S_1} \right)^{1/2} \quad (18)$$

Une estimation préliminaire rapide, pouvant d'ailleurs servir de contrôle d'ordre de grandeur, peut être obtenue à l'aide des courbes données par **André LIEBAUT**.

Pour le calcul de **X** et **C** on utilise l'équation de **SLOTZ**.

$$C = 0.5959 + 0.0312 \beta^{2.1} - 0.184 \beta^8 + 0.0029 \beta^{2.5} \left(\frac{106}{Re_0} \right)^{0.75} + Co L_1 \beta^4 (1-\beta^4)^{-1} - 0.0337 L_2 \beta^3 \quad (19)$$

Si $L_1 < 0.4333$; $Co \approx 0.09$

Si $L_1 \geq 0.4333$; $Co L_1 \approx 0.039$ $L_2 = 0.47$

L_1 ; coefficient d'éloignement de la prise de pression amont.

L_2 ; coefficient d'éloignement de la prise de pression aval

Le tableau donne les conditions générales d'emploi de cette formule

Tableau N° 4

Tab : 4 Limite d'emploi des diaphragmes			
	Prises de pression		
	Dans les angles	A la bride	A D et D/2
Prise amont	à 1/2 diamètre de prise	25 + - mm	0.9 - 1.1 D
Prise aval		25.4 + - mm	0.45 - 0.55 D
d (mm)	_____	_____	≥ 12.5
D (mm)	_____	_____	$50 \leq D \leq 7.60$
B	_____	_____	$0.2 \leq B \leq 0.75$
Re D	_____	_____	$1250 B^2 D \leq re D$ $\leq 10^8$ D (mm)

35

II-2/2 Mesure de la vitesse de rotation:

La mesure de la vitesse de rotation a été effectuée avec un stroboscope

II-2/3 Mesure de la rétention:

Pour mesurer la rétention ou taux de rétention du gaz, la plus simple des méthodes est de calculer la différence de niveau entre l'état gazeux et non gazeux soit :

$$X = h / (h + H_0) \quad \begin{array}{l} H_0 : \text{ hauteur initiale} \\ h : \text{ élévation due au gaz} \end{array} \quad (20)$$

Le taux de rétention a été également mesuré en prenant la perte de charge additionnelle due à la présence des bulles gazeuses.

Notre expérience consiste à mesurer le taux de rétention en utilisant une prise de pression directe sur la cuve, la différence de niveau nous indiquera l'évolution de la rétention gazeuse.

Faute de produit(bromure d'isobutyl), ce dispositif n'a pu être opératoire

II-3 PROCEDURE EXPERIMENTALE :

La procédure expérimentale a été suivie selon les étapes suivantes :

a/ Remplir le réacteur (réacteur discontinu) à une hauteur :

$$\begin{array}{ll} H = 150 & H = 200 \\ H = 250 & H = 290 \end{array}$$

b/ Etude de la variation de vitesse en fonction du débit gazeux:

b - 1 ouvrir le manodétendeur 2 et 3

b - 2 fixer un débit de gaz et faire varier la vitesse

b - 3 relever les pressions au niveau du diaphragme ainsi que la perte de charge au niveau de la colonne.

c/ Etude de la variation de débit en fonction de la vitesse
Refaire les mêmes manipulations qu'en b-1, b-2, b-3

Chapitre III

Interprétation des résultats

CHAPITRE III

III- INTERPRETATION DES RESULTATS

En pratique un réacteur agité, par une turbine de géométrie donnée ne peut fonctionner pour n'importe quel couple de vitesse d'agitation et de débit gazeux N , Q_m .

Nos conditions opératoires sont :

- * Système : Eau - air
- * Hauteur du lit : 150 - 200 - 250 - 290 mm
- * Vitesse d'agitation : 500 à 1400 tr/mn en charge
- * Débit gazeux : 8 - 13 g/s

III-1 ETUDE HYDRODYNAMIQUE :

III-1/1 Influence de la variation de la vitesse d'agitation sur la rétention.

L'observation visuelle à travers les parois du réacteur permet de définir divers régimes de fonctionnement pour les hauteurs de liquide, couple de vitesse d'agitation et débit gazeux (N , Q_m) différents.

On suggère de reproduire l'évolution de l'écoulement lorsque l'on maintient le débit du gaz constant et que l'on augmente la vitesse d'agitation N , pour les quatre hauteurs considérées.

*Pour la hauteur du lit H_0 égale à 150 mm figure { 13 }

on a observé le phénomène de vortex rapidement pour une vitesse d'agitation supérieure à 750 tr/mn,

$$N = 750 \text{ tr/mn}, \quad Q_m = 12,2 \text{ g/s}$$

$$N = 750 \text{ tr/mn}, \quad Q_m = 10,2 \text{ g/s}$$

ce phénomène empêche l'homogénéisation du fluide; on peut expliquer ceci par l'influence de la hauteur du lit H_0 .

En effet selon la norme suivie lors de la conception du réacteur, le mobile d'agitation est placé à une hauteur de 10 mm.

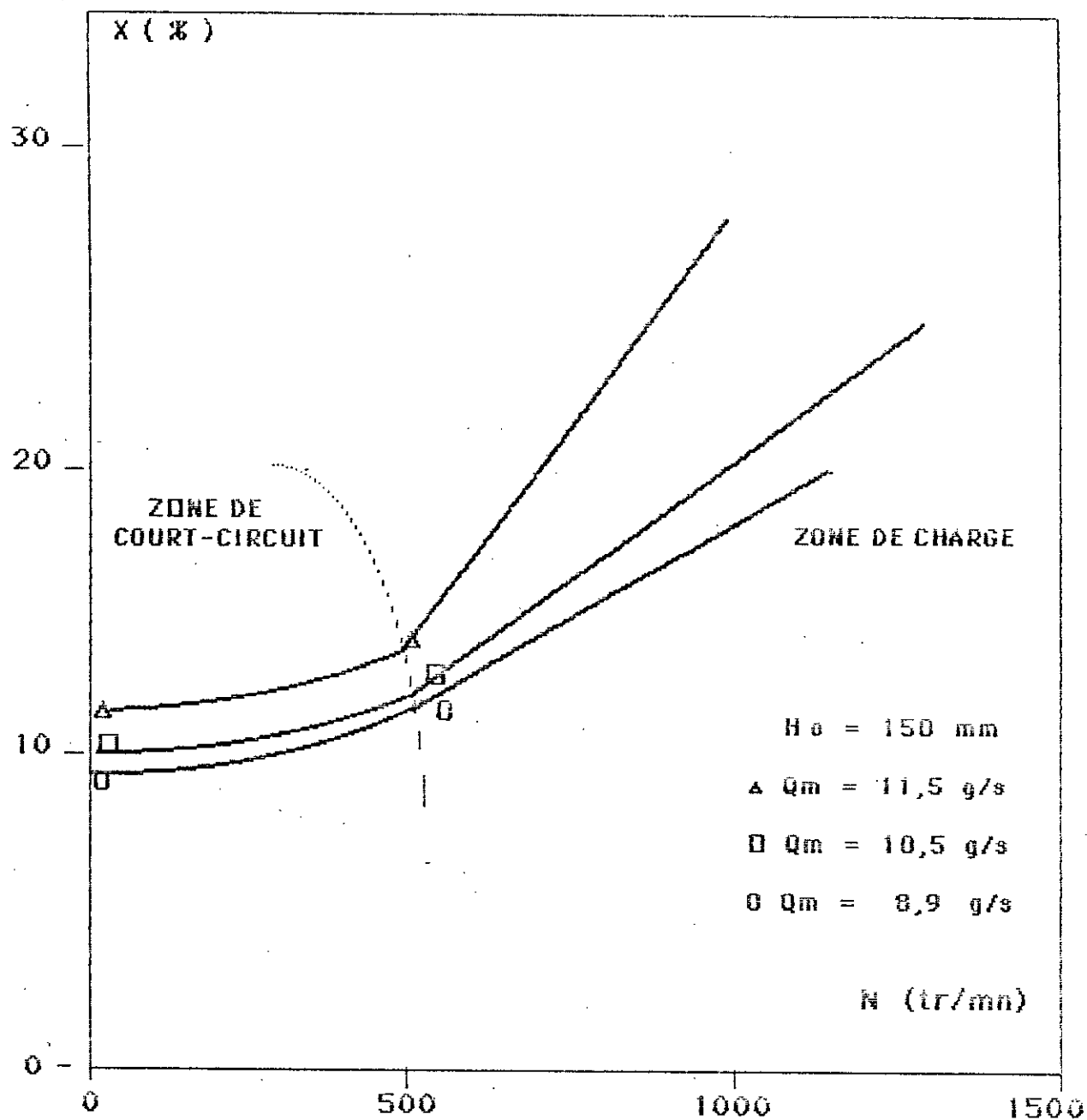


Figure No 13

VARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION DE LA VITESSE D'AGITATION

*Pour les deux hauteurs , H_0 = 200 et 250 mm;

Nous avons représenté l'évolution de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation , sur les figures (15 et 16)

afin d'expliquer les résultats expérimentaux, nous avons représenté sur les figures (14, a,b,c), les différentes circulations du gaz dans le réacteur, nous avons donc pu observer les différents domaines et modes de fonctionnement des réacteurs agités gaz liquide ;

- a/ Au début, le gaz n'est pas dispersé, il contourne la turbine et il s'écoule le long de l'arbre, vers la surface, puis en augmentant la vitesse d'agitation, on atteint le régime des grosses cavités, qui court-circuite ainsi tout le volume du réacteur figure (14, a,b).
- b/ La dispersion du gaz est alors suffisante pour répartir les bulles dans la partie supérieure de la cuve, en augmentant la vitesse d'agitation, on remarque que la dispersion du gaz commence à s'effectuer radialement figure (14, c).
- c/ Il y a circulation du gaz à la fois au dessus et au dessous de l'agitateur, on tend vers le régime des cavités adhérentes, ainsi, le réacteur est dit "en charge"; nous remarquons une bonne homogénéisation, autre remarque, la formation d'une hauteur au dessus du liquide, formée essentiellement de bulles figure (14, d).
- d/ A très grande vitesse , on devait obtenir la zone dite "zone d'engorgement" celle-ci n'a pas été observée, suite aux débordements obtenus à des vitesses d'agitation supérieures à 1200 tr/mn et à grand débit gazeux figure (14, e).

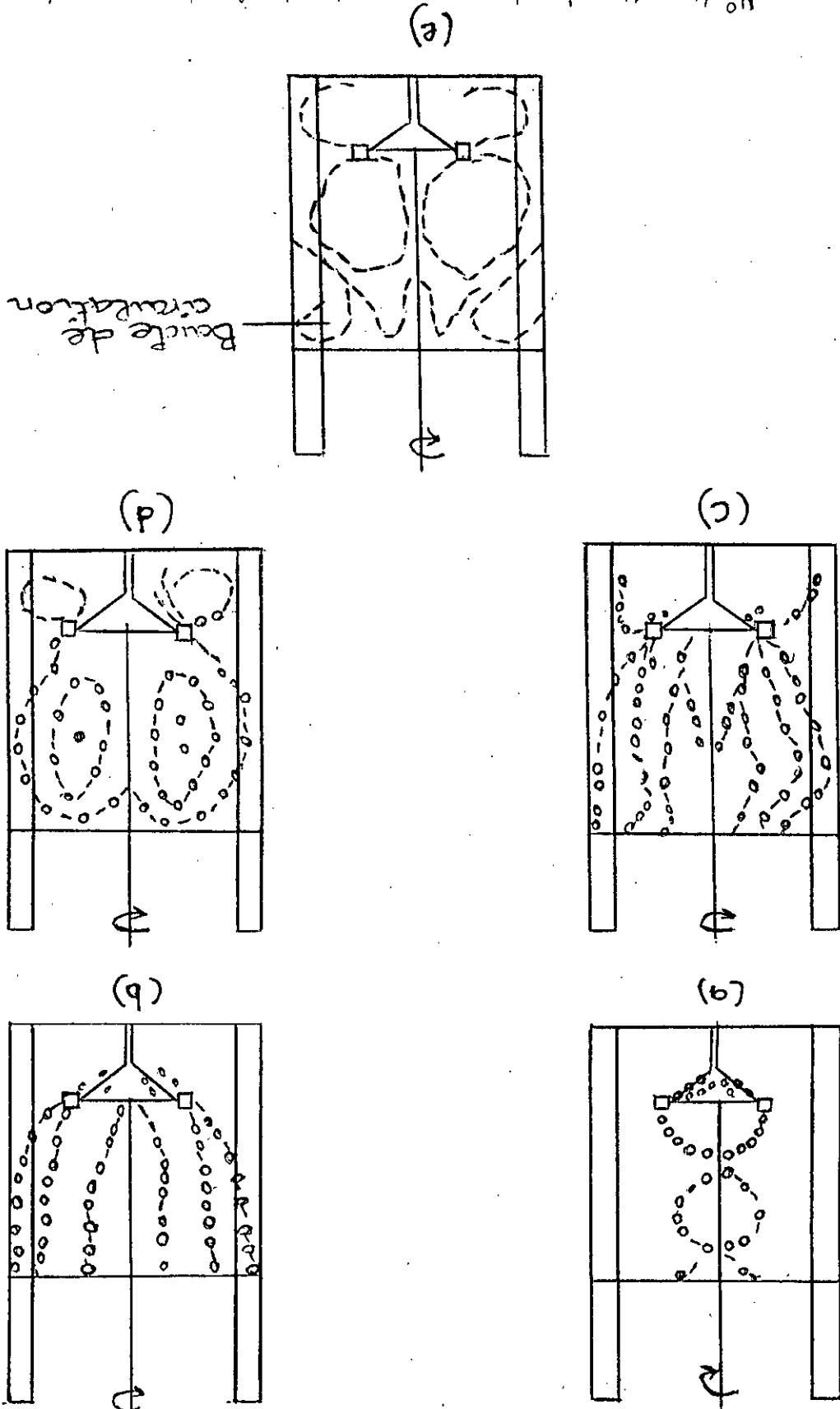
*Pour la hauteur H_0 = 290 mm :

On observe les trois régimes de fonctionnement .

Les résultats expérimentaux à débit gazeux constant et vitesse d'agitation variable, ont été regroupés sur la figure (17).

Plusieurs essais n'ont pu être représentés sur la figure compte tenu qu'ils n'ont pas été effectués à débit constant (réglage difficile du mano-détendeur).

Figure N° 14 Visualisation du mode de fonctionnement des réacteurs gaz-liquide



(e)

Boucle de circulation

(d)

(c)

(b)

(a)

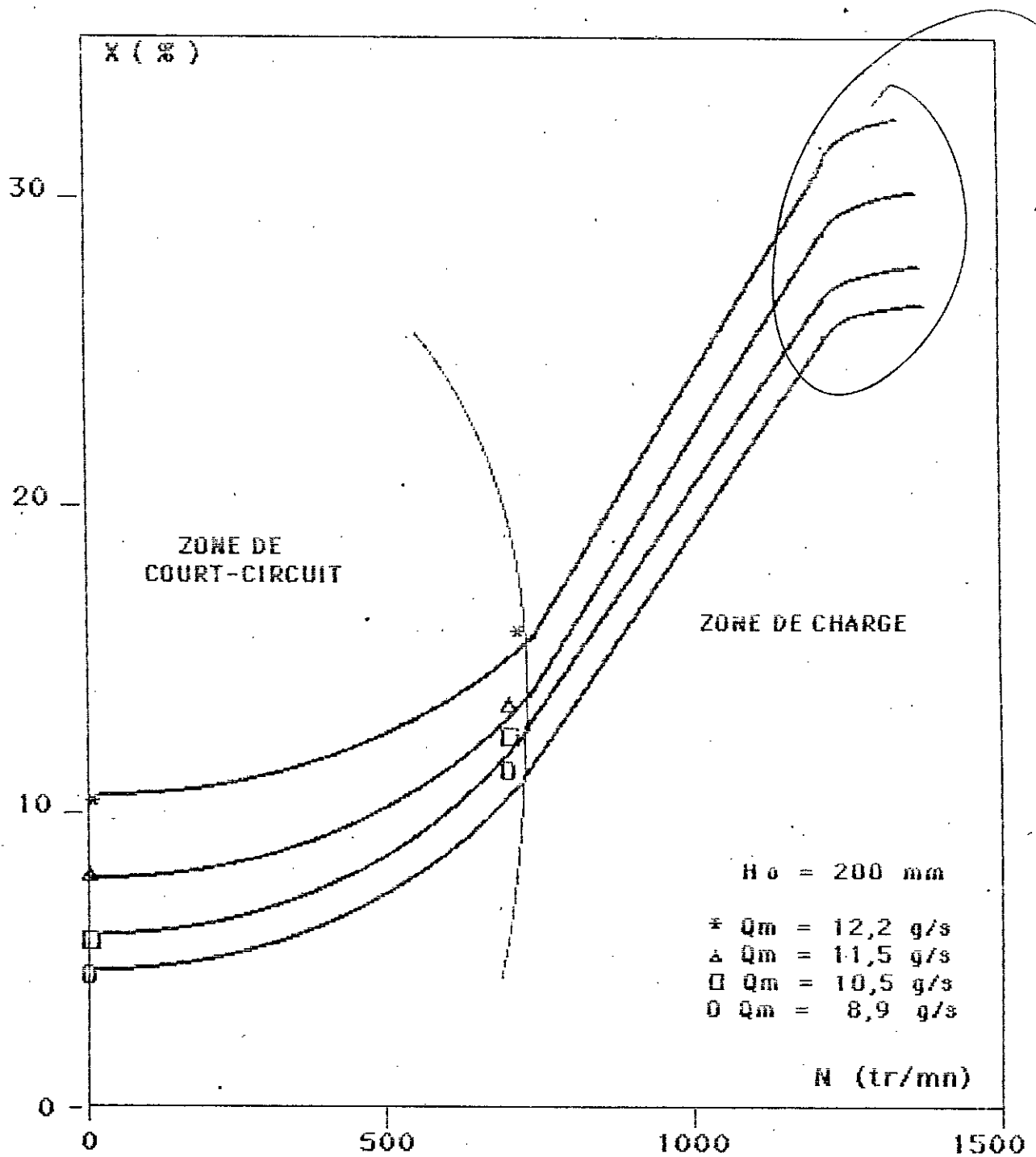


Figure No 15

YARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION DE LA VITESSE D'AGITATION

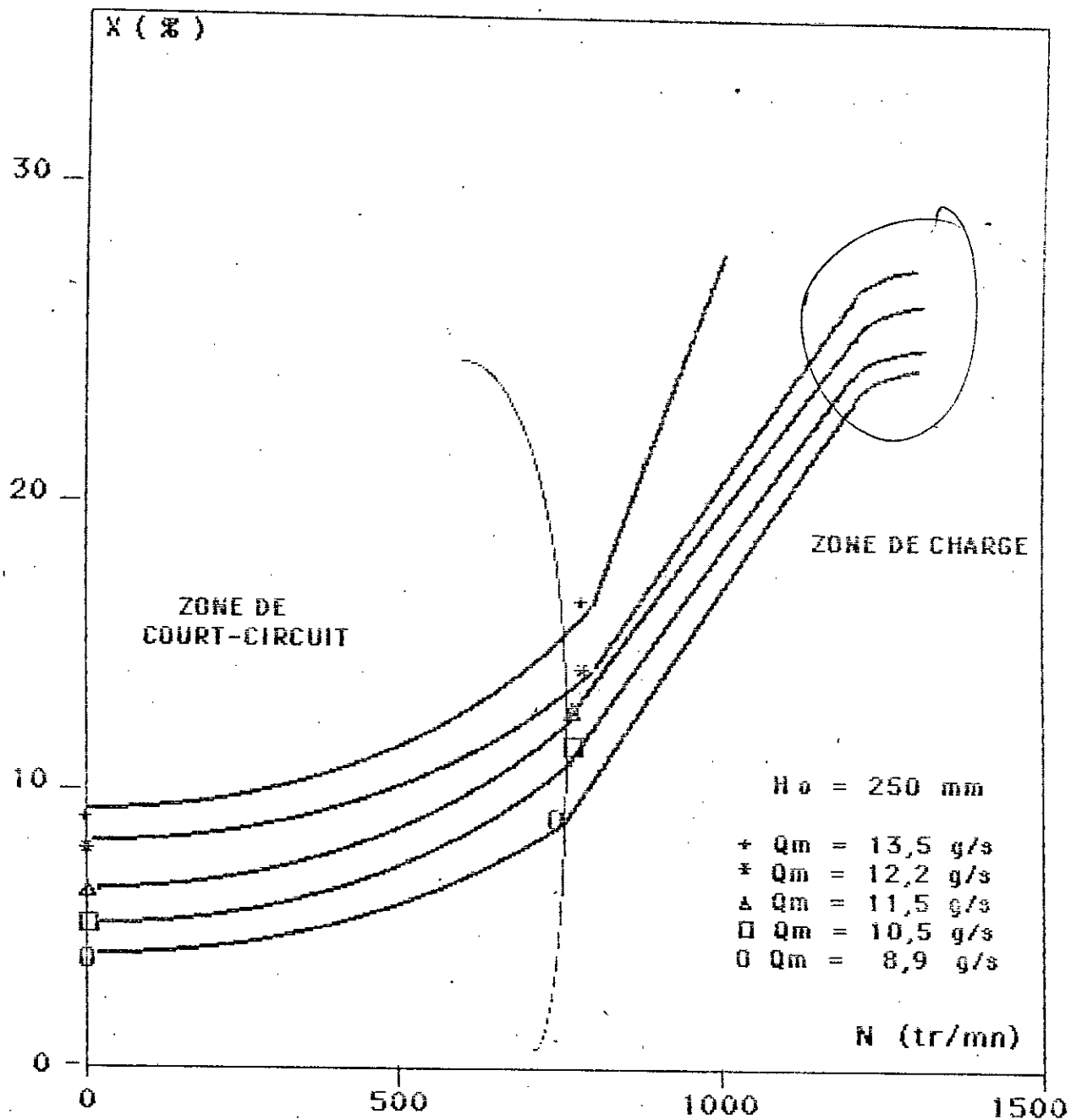


Figure N° 16

VARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION
DE LA VITESSE D'AGITATION

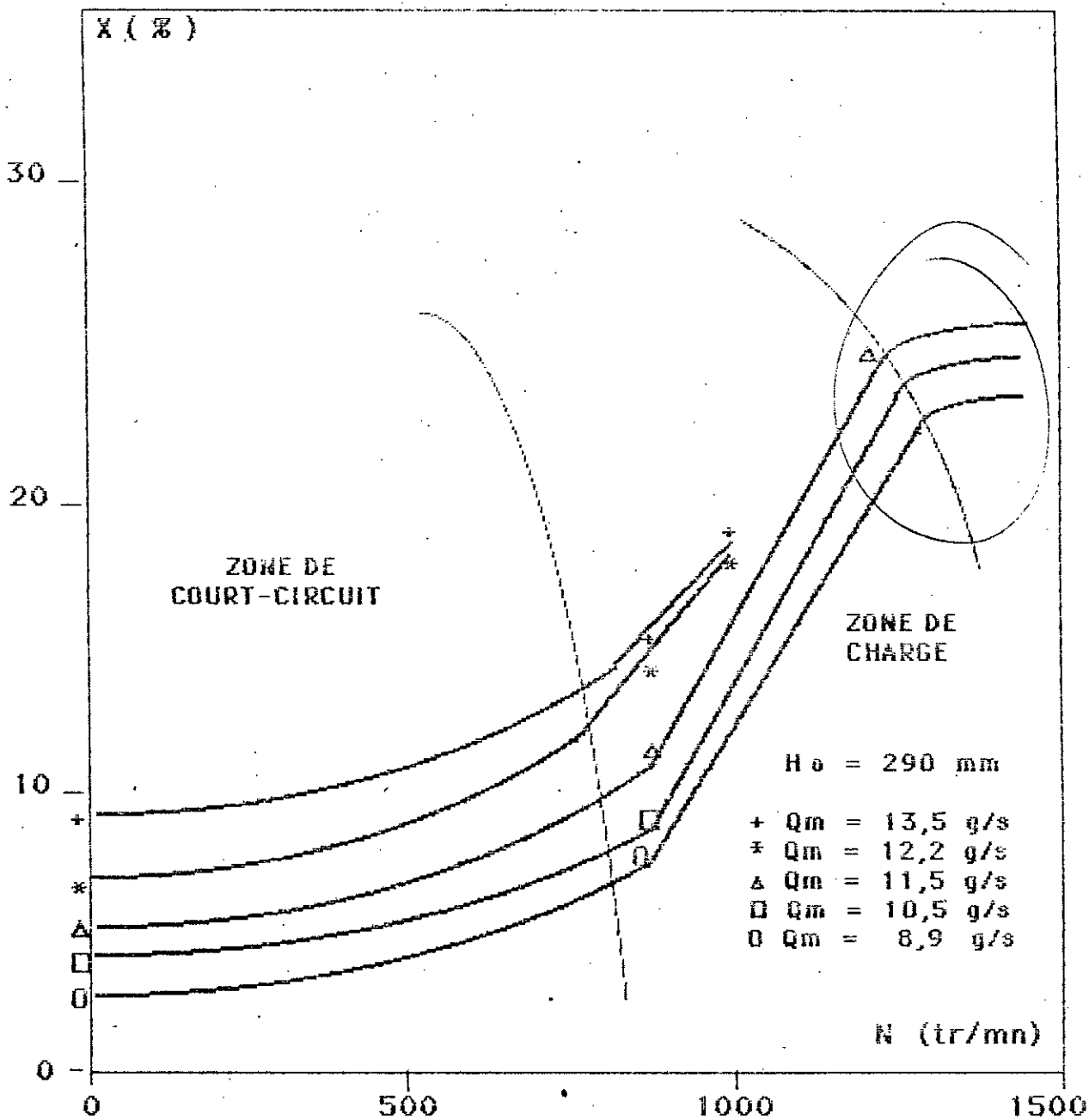


Figure N° 17

VARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION DE LA VITESSE D'AGITATION

III-1/2 Influence de la variation du débit gazeux sur la rétention :

Nous avons représenté sur les figures { 18, 19, 20, 21 } l'influence du débit gazeux sur la rétention et nous remarquons l'augmentation de la rétention avec le débit gazeux, ce, sous n'importe quelle vitesse.

III-1/3 Influence de la variation de la hauteur sur la rétention :

Il est représenté sur les figures { 22, 23 } l'influence de la hauteur initiale du liquide, sur la rétention, ce à vitesse d'agitation et débit de gaz constant.

La contrainte de maintenir les deux variables constantes N et Q_m , n'a pas permis d'exploiter tous les essais.

Cependant nous avons observé une allure décroissante de la rétention en fonction de la hauteur, pour les débits gazeux de 8,9 à 11,5 g/s.

*Pour la hauteur $H_0 = 290$ mm :

Les expériences effectuées, nous avons observé une diminution de la hauteur du lit (20 %).

Ceci explique la chute de la rétention observée sur la figure { 23 }

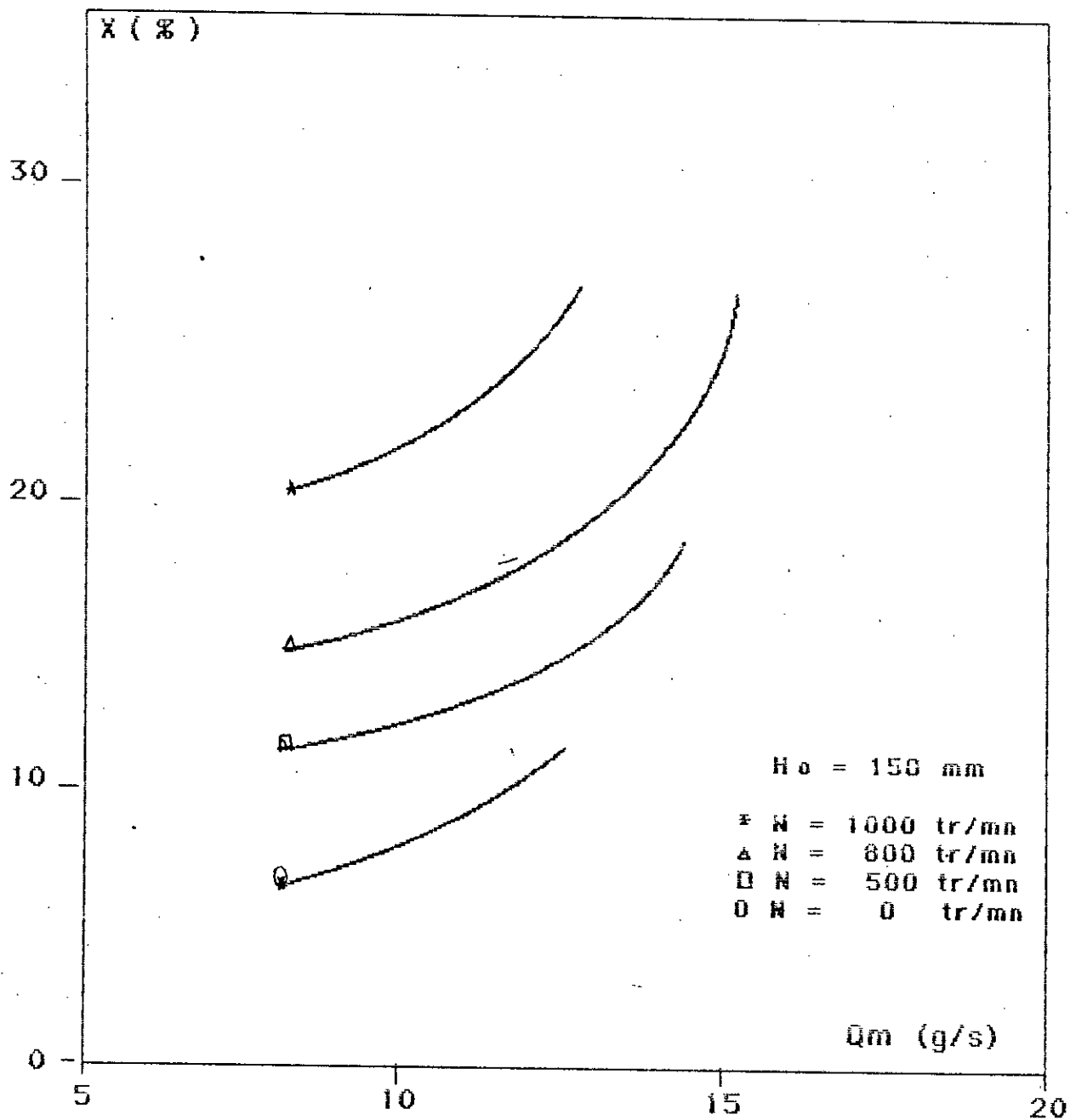


Figure No 18

VARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION
DU DEBIT GAZEUX

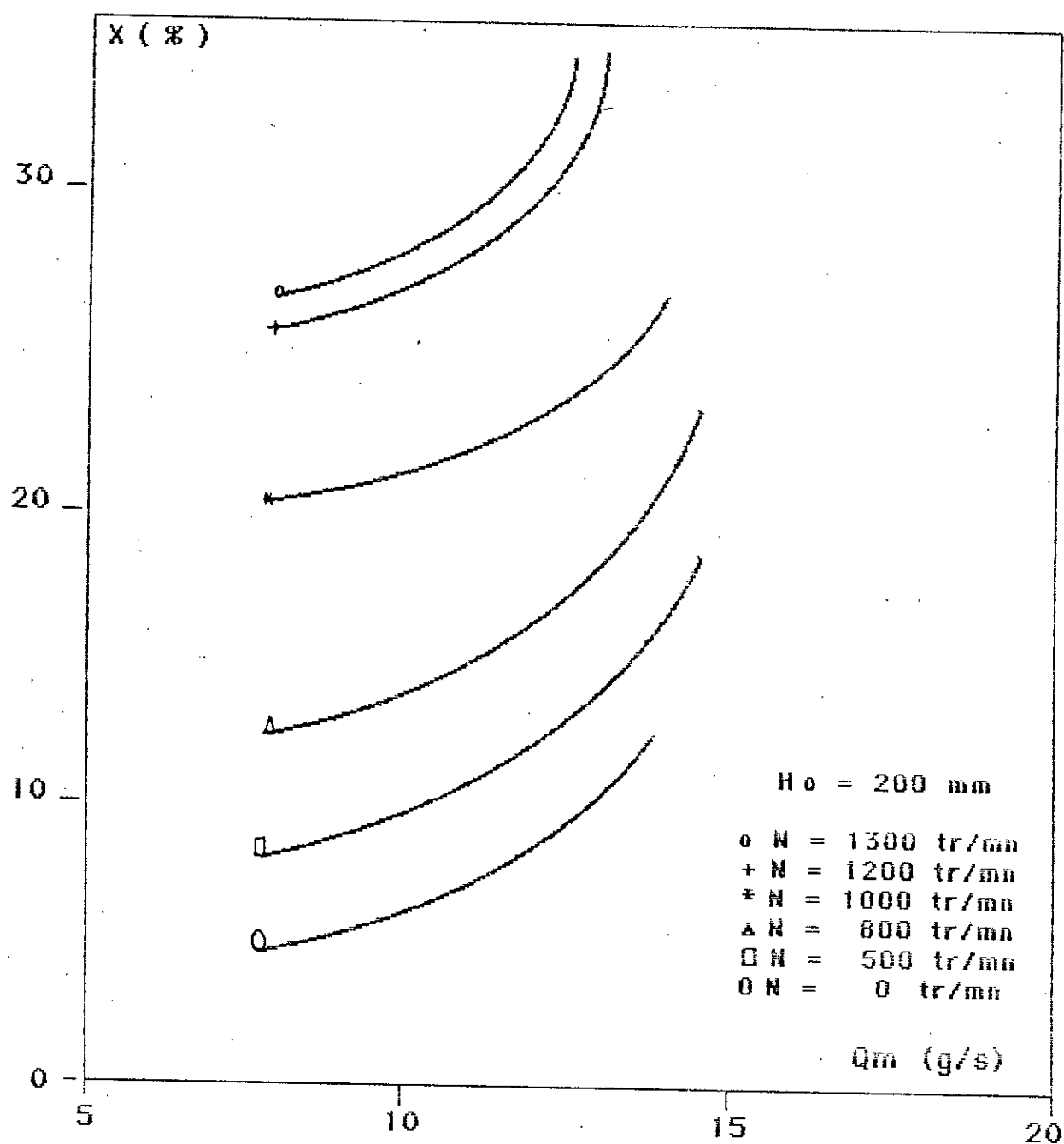


Figure No 19

VARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION
DU DEBIT GAZEUX

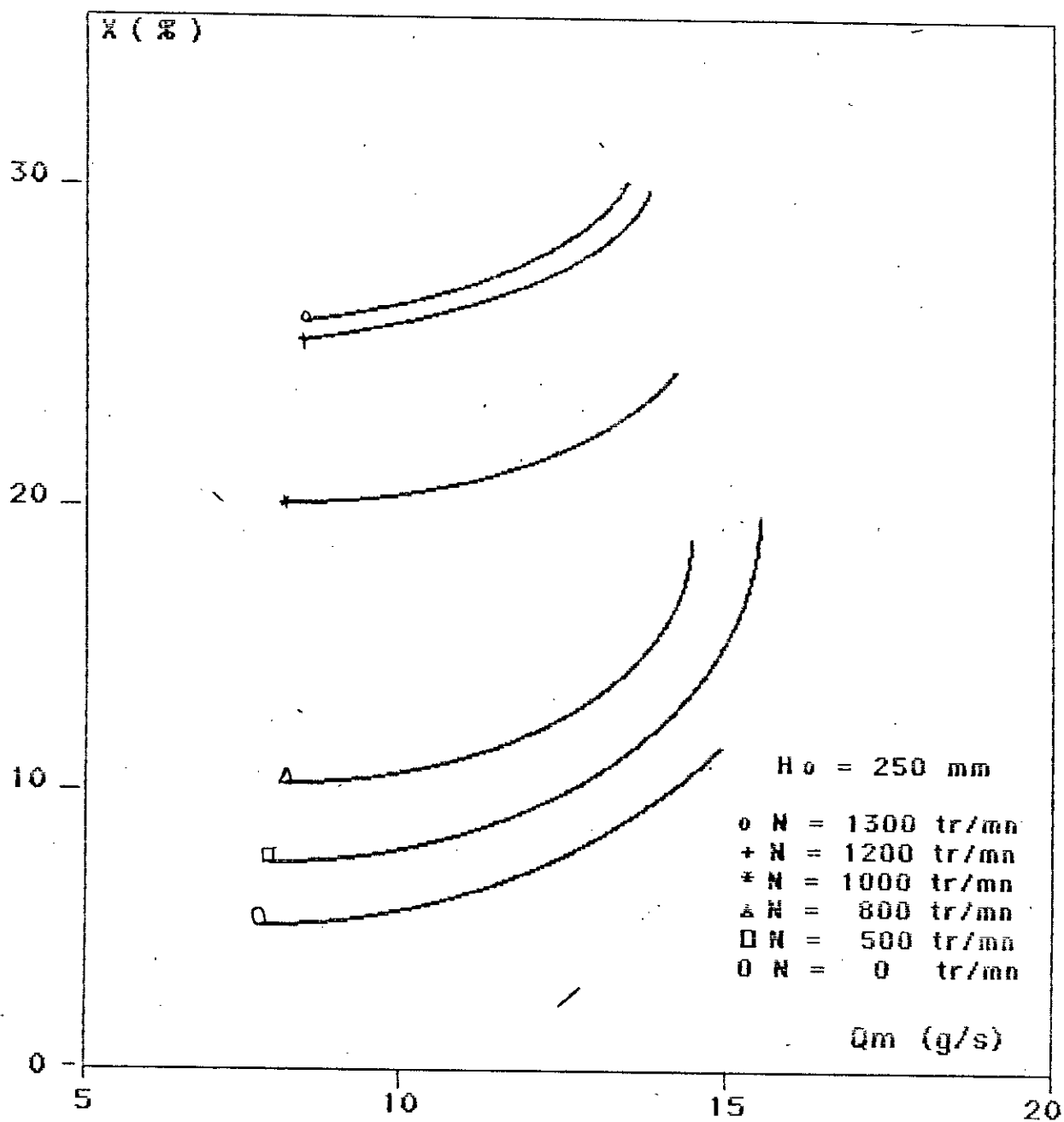


Figure N° 20

YARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION
DU DEBIT GAZEUX

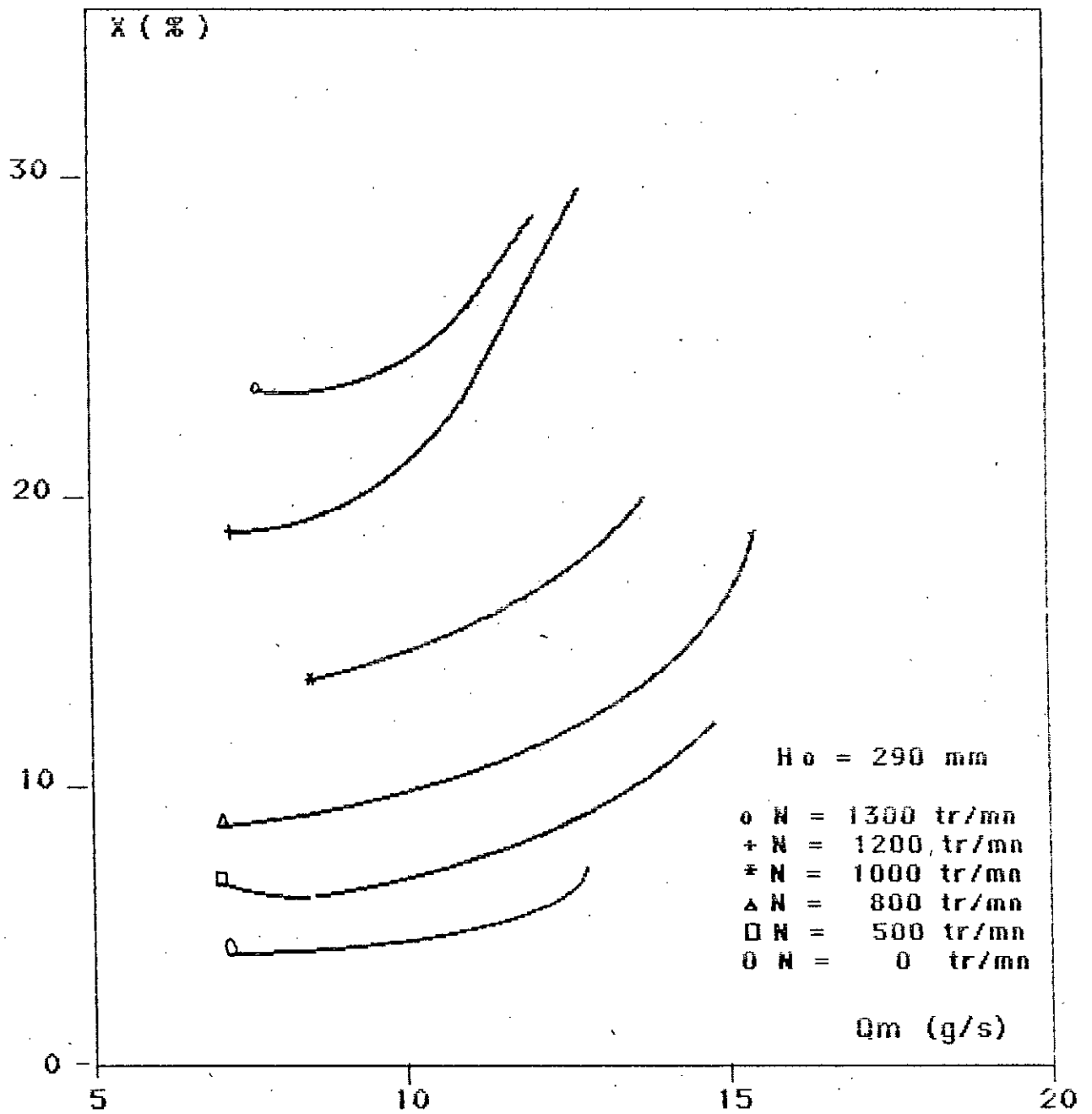


Figure N° 21

VARIATION DE LA RETENTION EN FONCTION
DU DEBIT GAZEUX

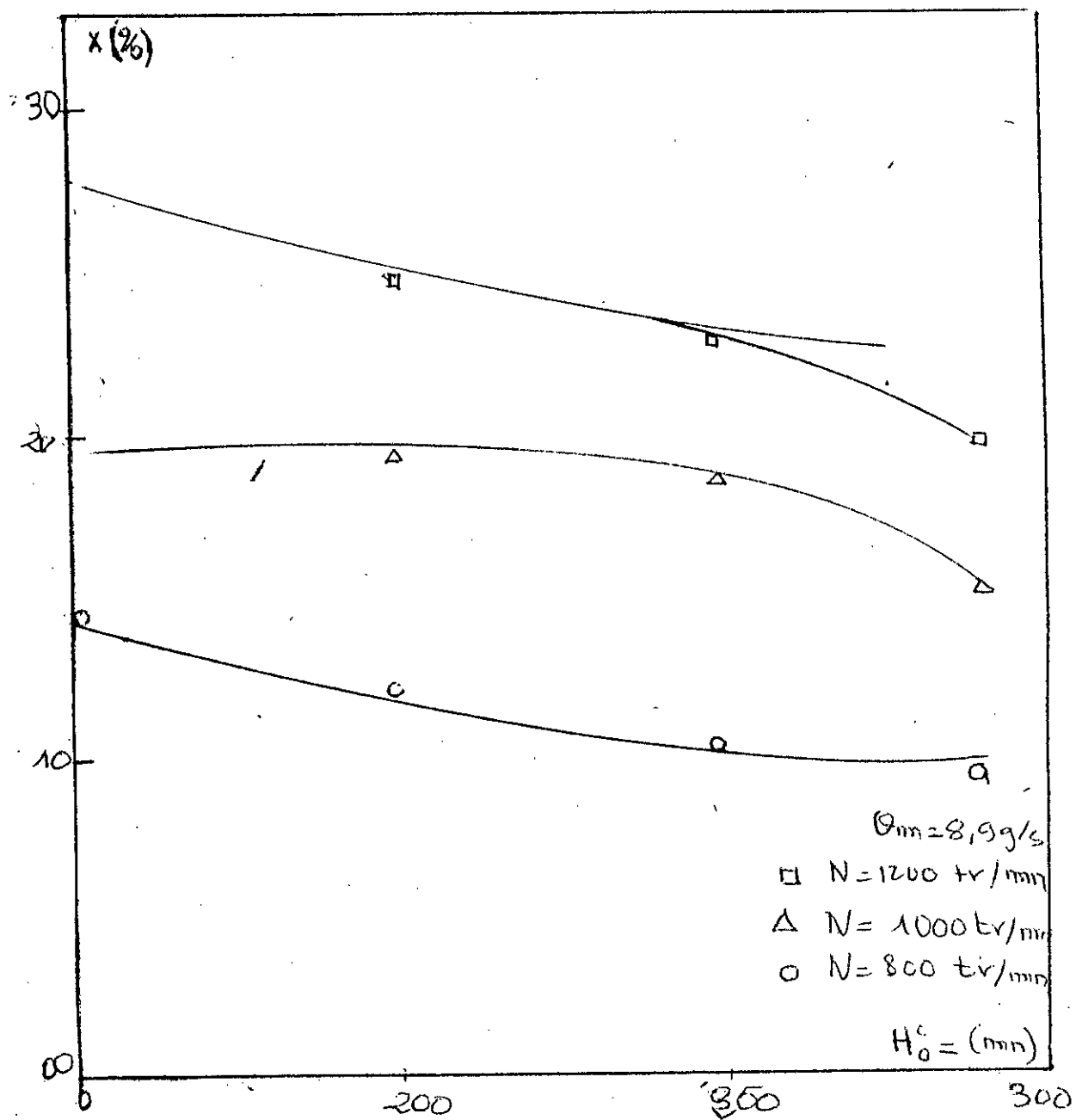


Figure -22- Variation de la rétention en fonction de la hauteur initiale (H_0)

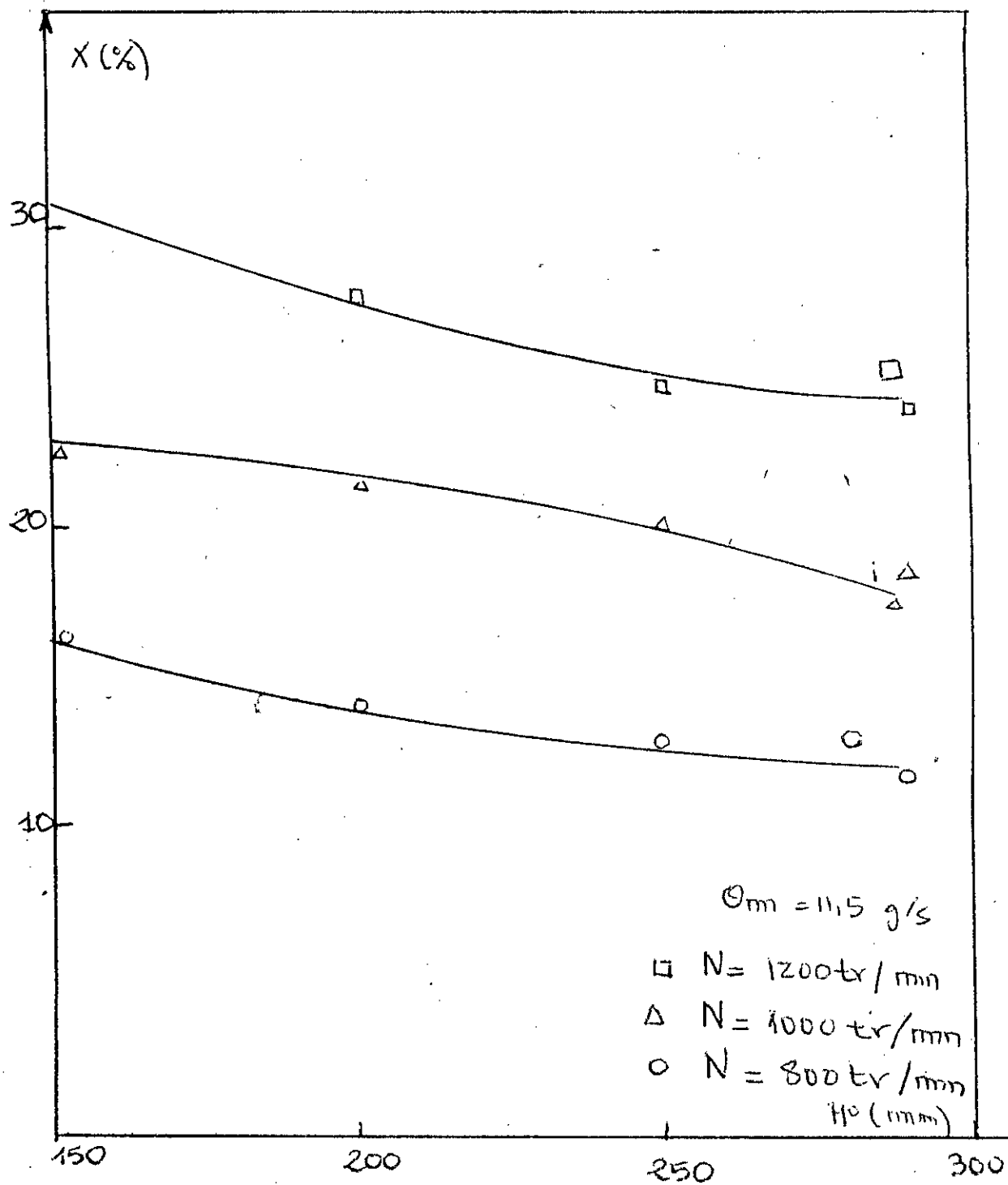


Figure - 23 - Variation de la retenon en fonction de la hauteur initiale.

Conclusion

CONCLUSION :

Les réacteurs à cuve agitée mécaniquement, sont utilisés dans de nombreux procédés chimiques, biologiques et pharmaceutiques.

La conception et le fonctionnement, dans des conditions optimales de ces réacteurs, nécessitent, une bonne connaissance de l'hydrodynamique et des transferts, de matière et de chaleur.

Le paramètre concernant l'hydrodynamique, le taux de rétention de la phase gazeuse, a été l'objectif de nos travaux.

Pour ce faire, nous avons réalisé un réacteur en Plexiglas de, 290 mm de diamètre et 390 mm de hauteur, agité mécaniquement par le mobile d'agitation 'turbine de Rhuston à six pales plates', Nous avons opté pour le système, Air - Eau

Plusieurs paramètres, influants sur la rétention du gaz, ont été mis en évidence.

- * L'augmentation du débit gazeux améliore la rétention du gaz pour chaque valeur de vitesse d'agitation et hauteur du liquide.
- * L'augmentation de la hauteur du liquide fait croître la rétention du gaz pour chaque valeur du débit gazeux et de vitesse d'agitation.
- * La variation de la vitesse d'agitation nous a permis de délimiter deux zones : zone de court-circuit et zone de charge.

L'étendue de notre étude hydrodynamique, pourrait se faire à travers l'opportunité de déterminer la vitesse minimale d'agitation efficace, la puissance d'agitation et le diamètre moyen des bulles.

ANNEXE

Q_m (g/s)	8,9	10,5	11,5	12,2	13,5	14,7
H_0 (mm)						
150	8,02	9,34	10,50	/	/	/
200	6,54	7,12	8,50	10,60	/	/
250	5,69	6,49	7,80	8,59	9,04	/
290	4,65	5,42	6,49	7,08	9,00	/

N=0

Tableau N° 5 Variation de la rétention en fonction du débit gazeux à N constant

Q_m (g/s)	8,90	10,50	11,50	12,20	13,50	14,70
H_0 (mm)						
150	11,76	12,15	13,42	14,66	/	/
200	9,00	11,25	12,34	13,42	15,40	/
250	7,45	8,32	9,62	11,30	13,42	12,02
290	6,56	7,40	8,30	9,36	12,40	/

N=500

Tableau N° 6 Variation de la rétention en fonction du débit gazeux à N constant

$Q_m(g/s)$	8,90	10,50	11,50	12,20	13,50	14,70
H_0 (mm)						
150	14,58	15,62	16,38	18,40	22,5	23,63
200	12,38	13,48	14,40	16,12	18,20	22,12
250	10,46	12,48	13,39	15,09	17,12	18,42
290	9,30	10,24	12,09	14,37	16,09	/

N=800

Tableau N° 7

Variation de la rétention en fonction du débit gazeux à N constant

$Q_m(g/s)$	8,90	10,50	11,50	12,20	13,50	14,70
H_0 (mm)						
150	20,24	22,79	23,12	24,40	/	/
200	19,79	20,59	22,13	22,79	23,74	/
250	18,92	19,42	20,60	21,45	22,79	/
290	15,37	17,39	18,08	19,40	17,60	/

N=1000

Tableau N° 8

Variation de la rétention en fonction du débit gazeux à N constant

Q_m (g/s)	8,90	10,50	11,50	12,20	13,50	14,70
H_o (mm)						
150	/	/	/	/	/	/
200	25,42	26,19	28,32	30,68	31,80	/
250	23,58	24,42	25,38	27,19	28,00	/
290	20,09	22,42	24,58			/

N=1200

Tableau N° 9

Variation de la rétention en fonction
du débit gazeux à N constant

Q_m (g/s)	8,90	10,50	11,50	12,20	13,50	14,70
H_o (mm)						
150	/	/	/	/	/	/
200	26,30	27,32	28,08	29,77	/	/
250	24,00	24,82	26,07	82,09	/	/
290	22,60	24,37	25,17	/	/	/

N=1300

Tableau N° 10

Variation de la rétention en fonction
du débit gazeux à N constant

Qm (g/s) N (tr/mn)	8.9	10.5	11.5	12.2	13.5	14.7
0	5,69	6,49	7,80	8,59	9,04	/
500	7,45	8,32	9,62	11,30	13,42	12,02
800	10,46	12,48	13,39	15,09	17,12	18,42
1000	18,92	19,42	20,60	21,45	22,79	/
1200	23,58	24,42	25,38	27,19	28,00	/
1300	24,00	24,82	26,07	28,09	/	/

H₀ = 2.50

Tableau N° 11

Variation de la rétention en fonction
du débit gazeux à hauteur initiale constante

Qm (g/s) N (tr/mn)	8.9	10.5	11.5	12.2	13.5	14.7
0	4,65	5,42	6,49	7,08	9,00	/
500	6,56	7,40	8,30	9,63	52,40	/
800	9,30	10,24	12,09	14,37	16,09	/
1000	15,37	17,39	18,08	19,40	17,60	/
1200	20,09	22,42	24,58	/	/	/
1300	22,60	24,37	25,17	/	/	/

H₀ = 2.90

Tableau N° 12

Variation de la rétention en fonction
du débit gazeux à hauteur initiale constante.

Qm(g/s) N(tr/mn)	8,9	10,5	11,5	12,2	13,5	14,7
0	8,02	9,34	10,50	/	/	/
500	11,76	12,15	13,42	14,66	/	/
800	14,58	15,62	16,38	18,40	22,5	23,6
1000	20,24	22,79	23,12	24,40	/	/
1200	/	/	/	/	/	/
1300	/	/	/	/	/	/

$H_0 = 450$

Tableau N° 13

Variation de la rétention en fonction
à hauteur initiale constante

0	6,54	7,12	8,50	10,60	/	/
500	9,00	11,25	12,34	13,42	15,40	15,92
800	12,39	13,48	14,40	16,12	18,20	22,12
1000	19,79	20,59	21,13	22,79	23,74	/
1200	25,42	26,19	28,32	30,68	31,80	/
1300	26,32	27,32	28,08	29,77	/	/

$H_0 = 200$

Tableau N° 14

Variation de la rétention en fonction
du débit gazeux à hauteur initiale constante

N(tr/mn)	0	500	800	1000	1200	1300
H ₀ (mn)						
150	8,02	11,76	14,58	20,24	/	/
200	6,54	9,00	12,39	19,79	25,42	26,30
250	5,68	7,45	10,46	18,92	23,58	24,00
290	4,65	6,56	9,30	15,37	20,09	22,60

G=8,9 (g/s)

Tableau N°15

Variation de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation à débit gazeux constant

N(tr/mn)	0	500	800	1000	1200	1300
H ₀ (mn)						
100	9,34	12,15	15,62	22,79	/	/
200	7,12	11,25	13,48	20,59	26,19	27,32
250	6,49	8,32	12,48	19,42	24,42	24,82
290	5,42	7,40	10,24	17,39	22,92	24,37

G=10,5 (g/s)

Tableau N°16

Variation de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation à débit gazeux constant

N (tr/mn)	0	500	800	1000	1200	1300
H ₀ (mn)						
150	10,50	13,42	16,38	23,12	/	/
200	8,50	12,34	14,40	22,13	28,32	28,08
250	7,80	9,62	13,39	20,60	25,38	26,07
290	6,49	8,30	12,09	18,08	24,58	25,17

$G=11,5 (g/s)$

Tableau N° 17

Variation de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation à débit gazeux constant

N (tr/mn)	0	500	800	1000	1200	1300
H ₀ (mn)						
150	/	14,66	18,40	24,40	/	/
200	10,60	13,42	16,12	22,79	30,68	29,77
250	8,59	11,30	15,09	21,45	27,19	28,09
290	7,08	9,63	14,37	19,40	/	/

$G=12,2 (g/s)$

Tableau N° 18

Variation de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation à débit gazeux constant

N(tr/mn)	0	500	800	1000	1200	1300
H ₀ (mn)						
150	/	/	22,50			
200	/	15,40	18,20	23,74	/	/
250	9,04	13,42	17,12	22,79	28,00	/
290	9,00	12,40	16,09	17,60	/	/

G=13,5 (g/s)

Tableau N° 19

Variation de la rétention en fonction de la vitesse d'agitation à débit gazeux constant.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BURTON J. "Pratique de la mesure et du contrôle dans l'industrie"
tome I Paris, Dunot, 1964
- (2) KUNITI D, LEVENSPIEL O, "Fluidization engineering" John-wiley,
New York 1969
- (3) FOUST, COLL et ROUSTAN M, "Contribution à l'étude des phénomènes
d'agitation et de transfert de matière
dans les réacteurs gaz liquide"
thèse, Université de Toulouse 1978
- (4) LOISEAU B. "Contribution à l'étude du transfert de matière et de l'hydro-
dynamique des réacteurs à cuve agitée mécaniquement"
Thèse INPL, Nancy, 1976
- (5) LINEK V. et J. MAYRHOFEROVA , "Chemical Engineering Science"
Vol. 25, N° 1033, 1970
- (6) MIDOUX N. ET CHARPENTIER, "Les réacteurs gaz liquide à cuve agitée
mécaniquement ", partie 1 Hydrodynamique
Entropie N° 88, 1979
- (7) PHARAMOND JC., ROUSTAN M., ROQUES H. "Détermination de la puissance
consommée dans une cuve aérée et agitée"
Chemical Engineering Science, Vol 30
pp. 907 -912, 1985
- (8) TRAMBOUZE P. "Le développement des procédé de raffinage et de pétro-
chimie" Paris, Technip, 1975
- (9) Technique de l'Ingenieur, Reacteur gaz liquide.

- (7) PHARAMOND J.C., ROUSTAN M. et ROQUES H., Détermination de la puissance consommée dans une cuve aérée et agitée
 Chemical Engineering Science, Vol 30, pp 907-912 1985
- (A) OYAMA Y. et ENDOH K., Chemical Engineering, Japan 1955, 19-218
- (B) MICHEL B.J. et MILLER S.A., A.I. Ch. E. J. 1962 8, 22-26
- (C) BATES R.I. et FONDY P.I. et FENIE J.G., Mixing, Theory and Practice,
 pp 11-176 Academic Press, New York 1966
- (D) FINN R.K., Bacteriol Rev. 1954 pp 18, 254-274
- (E) CALDERBANK P.H., Trans. Instr. Chem. Engr. 1959, pp 37, 443-463
- (F) DE MAILLARD B., Information Chimie 1972, pp 109, 209-221
- (G) RUSHTON J.H., COSTICH E.W. et EVERETT H.J., Chem. Eng. Prog. 1950,
 pp 9, 46, 467-476
- (H) CALDERBANK P.H., Trans. Instr. Chem. Engrs. 1959, pp 37, 173-185
- (I) COOPER C.M., FERNSTROM G.A. et MILLER S.A., Ind. Engng. Chem.
 1944 pp 36, 504-509
- (J) FOUST H.G., MACK D.E. et RUSHTON J.A., Indus. Engng. Chem. 1944
 pp 36, 517-522
- (K) KALINSKE A.A., Sewage and Indus. Wastes 1955 pp 275, 572-580
- (L) CLARK M.W. et VERMEULENT T., Laurence Radiation Lab. rep. N° 10 996
 Univ. of California Berkeley Calif. 1966
- (M) BRAUER H. et SCHIMDT-TRAUB H., Chemie Ingenieur technik, 1972
 pp 44, 23, 1329-1332
- (N) MOO YONG M., TICHAR K. et DULLIEN F.A.L., A. I. Ch. E. J. 1972,
 pp 18, 1, 178-182

NOMENCLATURE

- b - LARGUEUR DES CHICANES (mm)
- C - COEFFICIENT DE DECHARGE
- D - DIAMETRE DE LA CUVE (mm)
- d - DIAMETRE DU MOBILE D'AGITATION (mm)
- H - HAUTEUR DU LIQUIDE (mm)
- N - VITESSE DE ROTATION DU MOBILE D'AGITATION (br/mm)
- NQC - NOMBRE DE CIRCULATION
- NQP - NOMBRE DE POMPAGE
- Pa - PUISSANCE EN MILIEU AERE (w)
- Po - PUISSANCE D'AGITATION (w)
- Qc - DEBIT DE CIRCULATION (m³/s)
- Qe - DEBIT D'ENTRAINEMENT (m³/s)
- Qm - DEBIT MASSIQUE (Kg/s)
- QP - DEBIT POMPAGE DU MOBILE D'AGITATION (m³/s)
- Re - REYNOLDS
- U - VITESSE DU FLUIDE (m/s)
- We - NOMBRE DE WEBER
- X - RETENTION GAZEUSE
- Y - HAUTEUR DU MOBILE PAR RAPPORT AU FOND DE LA CUVE (mm)
- n - VISCOSITE DYNAMIQUE DU FLUIDE (pa x s)
- ρ - MASSE VOLUMIQUE (Kg/m³)
- σ - TENSION SUPERFICIELLE DU LIQUIDE (N/m)
- Σ - COEFFICIENT DE DILATATION DU GAZ
- τ - RAPPORT DES CAPACITE THERMIQUE MASSIQUE A TPN
- δ - COEFFICIENT D'ECOULEMENT
- ν - VISCOSITE CINEMATIQUE DU FLUIDE (m²/s)