

2 EX

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

# PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

### S U J E T

ETUDE SUR LA SEPARATION  
DES BOUES PAR FLOTTATION

Proposé par :

Mr. NAKIB

Etudié par :

Mr. N. LAIB

Mr. T. MESLEM

Dirigé par :

Mr. NAKIB

Mr. AMAMRIA

PROMOTION : JUIN 1988

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

département: Génie de l'environnement  
promoteur: ...M<sup>r</sup>... MAKIB.....  
élève Ingénieur: ...M<sup>r</sup>... N. LAÏB... T. MESLEM



صحة  
وجه  
المهندس

الموضوع - دراسة حول تفريق الرواسب الناتجة من المياه القذرة عن طريق التعويم  
الملخص - إن مشروعنا يدرج حول تفريق "الرواسب الناتجة من المياه القذرة" وذلك  
عن طريق التعويم  
ولهذا قمنا بإنشاء حوض خاص للتعويم  
العوامل المستخدمة في دراستنا هذه هي كالتالي:  
- التركيز - مواد كيميائية خاصة بالتعويم و pH

Sujet: ..... Etude sur la séparation des boues par flottation

Résumé: Notre projet consiste à séparer les boues par flottation.

Pour cela nous avons été amenés à réaliser une cellule de flottation.

Les paramètres utilisés dans cette étude sont:

- la concentration - les collecteurs et le pH

Subject: .....

Abstract: Our work is dealing with the separation of mud (slush, filth, dirt) by means of flottation

For that purpose, we have realized a flottation cell.

The parameters we have used for this study are

- The concentration - The collectors and The pH

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Dédicace

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

A

- MA GRAND-MERE
- MA CHERE MERE
- MON CHER PERE
- MES FRERES ET SOEURS
- A TOUS MES AMIES (15)

T. MESLEM

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

A

- MA CHERE MERE
- MON CHER PERE
- MA SOEUR
- MONSIEUR MEYER
- LA MEMOIRE DE MON ONCLE
- A TOUS MES AMIES (15)

A. LAIB

# Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Mr NAKIB pour l'aide précieuse et les conseils qu'il nous a prodigué tout au long de l'année et nous l'assurons de notre profonde reconnaissance.

Nous tenons à remercier :

Mr AMAMRIA, Docteur, enseignant au département de génie de l'environnement.

Melle CHERIFA, LEILA, LYNDA

Mr R. MANSOUR,

Mr M. BENGAOUA,

Enfin tous ceux qui de près ou de loin nous ont aidé à élaborer ce travail trouvent en ces quelques lignes l'expression de nos remerciements <sup>plus</sup> les sincères.

# Nomenclature

|               |   |                                     |
|---------------|---|-------------------------------------|
| $\gamma_{sg}$ | : | Energie interfaciale solide/gaz     |
| $\gamma_{sl}$ | : | Energie interfaciale solide/liquide |
| $\gamma_{lg}$ | : | Energie interfaciale liquide / gaz  |
| $\theta$      | : | Angle de contact                    |
| $C$           | : | Concentration                       |
| $t$           | : | Temps                               |
| $K$           | : | Constante de vitesse                |
| $R$           | : | Constance de gaz parfait            |
| $\sigma$      | : | Tension superficielle               |
| $a$           | : |                                     |
| $m$           | : | masse du gaz formée                 |
| $I$           | : | Intensite du courant                |
| $M$           | : | masse atomique du gaz               |
| $n$           | : | valence                             |
| $F$           | : | Constante de Faraday                |

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| - Préambule .....  | 1  |
| - Position du problème .....                                   | 2  |
| <br><u>CHAPITRE 1</u>  |    |
| I - Généralités .....  | 3  |
| II - Introduction .....  | 3  |
| III - Principe de flottation .....                             | 4  |
| <br><u>CHAPITRE 2</u>  |    |
| - Théorie de la flottation .....                               | 6  |
| I - Les phases en flottation .....                             | 6  |
| II - Introduction .....  | 7  |
| III - Hydrophobicité de surface .....                          | 7  |
| IV - Cinétique de la flottation .....                          | 9  |
| V - Influence physique dans la flottation .....                | 9  |
| V.1 . Influence de la température .....                        | 9  |
| V.2 . La grosseur de grains en flottation .....                | 10 |
| V.3 . Choix du diamètre des bulles .....                       | 12 |
| V.4 . Mesure du nombre d'hydrogène en flottation ..            | 13 |
| V.5 . Influence du nombre d'ions d'hydrogène sur la flottation | 14 |
| <br><u>CHAPITRE 3</u>  |    |
| - Réactifs de flottation .....                                 | 15 |
| I - Classification des réactifs de flottation .....            | 15 |
| II - Emploi des réactifs de flottation .....                   | 16 |
| II . 1 . Ecumants .....  | 16 |
| II . 2 . Collecteurs .....                                     | 17 |
| II . 3 . Réactifs de flottation régulateurs .....              | 18 |

# Sommaire

## CHAPITRE 4

|   |    |
|---|----|
| - Machines de flottation .....  | 19 |
| I - Principe .....  | 19 |
| II - Généralités .....  | 20 |
| III - Les différents procédés de flottation - - - - -                 | 21 |
| III.1 . Electroflottation .....                                       | 21 |
| III.2 . Aéroflottation .....  | 22 |
| III.3 . Flottation par injection d'air ....                           | 23 |
| III.4 . Création de bulles d'air par le principe (ROTOR-<br>o STATOR) | 23 |

## CHAPITRE 5

|   |    |
|---|----|
| - Les boues (Généralités) . . . . .       | 25 |
| I - Caractéristique d'une boue . . . . .  | 26 |
| II - L'épaississement des boues - - - - - | 27 |

## CHAPITRE 6

|  |    |
|--|----|
| - Réalisation et description de la cellule de flottation | 28 |
|--|----|

## CHAPITRE 7

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| - Partie expérimentale - - - - - | 32 |
|----------------------------------|----|

## CHAPITRE 8

|  |    |
|--|----|
| - Interpretation des résultats - - - - - | 59 |
|--|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| - Conclusion - - - - - | 64 |
|------------------------|----|

-ANNEXE.



Preambule :

Dans le domaine industriel, la flottation trouve de très nombreuses applications, soit comme prétraitement, avant une épuration biologique par exemple, soit comme traitement global, lorsque la qualité du rejet est compatible avec la réglementation.

Parmi les applications spécifiques, on peut citer la séparation des huiles et des graisses. Ces produits, en général infiltrables, ne décantent pas et perturbent le fonctionnement des procédés biologiques en s'opposant plus ou moins au transfert d'oxygène. C'est le cas notamment de :

**la sidérurgie**, pour les effluents de laminoir à froid

-L'industrie mécanique, pour les effluents contenant des huiles de coupe, des cires

-Les forges, pour les effluents contenant des huiles d'estampage

-L'industrie du pétrole (huiles et hydrocarbures, goudron, etc.)

-Les ateliers de réparation pour les eaux de lavage

-Les industries **alimentaire** traitant des corps gras.

Une autre application intéressante est celle qui concerne les effluents contenant des fibres souvent difficiles à filtrer et à décanter. C'est le cas de :

-l'industrie papetière, pour les eaux blanches,

-les industries textiles, pour les eaux contenant des fibres naturelles et artificielles (**coton**, laine, rayonne, feutre).

Position du problème :

Vu les problèmes rencontrés dans le procédé de séparation des boues par décantation telsque :

- Les longs temps de séjour,
- Les développements anaérobies responsables en général des mauvaises odeurs des stations biologiques,
- L'encombrement considérable
- La-mauvaise efficacité vis-à-vis de certains polluants (graisses, hydrocarbures, détergents)
- L'exploitation difficile.

Il nous a été proposé de faire une étude à l'échelle laboratoire qui consiste à séparer les boues par flottation.

Pour cela nous avons été amenés à réaliser une cellule de flottation (voir fig 3)

les parametres utilisés dans notre étude sont :

la concentration, pH, collecteurs, pour approfondir notre etude nous avons travaillé sur trois types de boues-:

- boues éssues de la station d'épuration des eaux usées industrielles (SNVI),
- boues éssues de la station d'épuration des eaux usées industrielles (textile-COTE TEX),
- boues issues des eaux usées industrielles (Papeterie SONIC Baba-Ali)

# **CHAPITRE : 1**

**Généralités**

**Introduction**

**Principe de flottation**

## I . Généralités :

La flottation est un procédé de séparation des solides relativement récent, puisqu'on peut faire remonter les 1<sup>iers</sup> développements industriels aux années 1905.1910, en Australie et aux U.S.A particulièrement.

Son importance majeure est démontrée dans l'industrie minérale, où elle a contribué au développement de la production de la matière première à partir de ressources à très faibles teneur.

On peut dire, sans exagérer, que sans la flottation, notre civilisation industrielle devrait payer beaucoup plus cher une très grande partie des matériaux comme le Zn, Cu, Pb, etc.

D'autres domaines industriels appliquent à l'heure actuelle, le procédé de flottation : en particulier l'industrie papetière pour la purification des vieux papiers (désoncrage) et l'industrie du traitement des eaux pour effectuer une séparation de certaines phases (huiles insolubles ou solide) de l'eau qu'il contaminent.(1)

## II INTRODUCTION :

La flottation est une méthode de séparation de solides qui utilise des différences de propriétés d'interfaces entre les solides, une solution aqueuse et un gaz (habituellement) de l'air). Dans certains cas, et en particulier dans les traitements des eaux usées.

La flottation est un procédé de séparation fondé sur la fixation de bulles de gaz - généralement de l'air sur des particules de solides ou liquides qui sont alors entraînées vers la surface où elles s'accumulent dans la mousse et peuvent être écumées (1, 11)

### III PRINCIPE DE FLOTTATION :

Le principe de la flottation peut être décrit de la manière suivante :

Les particules solides que l'on désire séparer, et qui doivent être idéalement constituées d'une seule phase, sont mises en suspension dans l'eau.

On traite tout d'abord cette pulpe avec certains réactifs chimiques (ce qui constitue la phase de conditionnement) dont le rôle est de rendre hydrophobe la surface de certains solides, de manière à ce qu'elle ait une plus grande affinité pour l'air que pour l'eau.

Parmi les réactifs qui sont utilisés, un ou plusieurs sont appelés collecteurs (ou plus généralement, surfactants) et ont pour fonction de donner l'hydrophobicité à la surface des particules ; les autres réactifs connus, sous le nom de modificateurs, et sont utilisés afin de rendre sélective l'action du ou des collecteurs par activation ou par depression.

On dit qu'un solide est actif lorsque ne flottant pas avec une combinaison donnée des réactifs comprenant un collecteur, l'addition d'un nouveau réactif (l'activant) le fait flotter.

On dit qu'un solide est déprimé lorsque, flottant avec une combinaison donnée de réactifs, l'addition d'un nouveau réactif (le déprimant) l'empêche de flotter.

A la fin de la phase de conditionnement, la surface des particules constituées de la phase solide que l'on désire séparer est seule devenue hydrophobe, ce qui permet de réaliser une flottation différentielle

La pulpe ainsi conditionnée est alors introduite dans des cellules de flottation, C. à. d des réacteurs munis d'agitateur, de diaphragmes ou d'électrode qui dispensent ou engendrent des bulles d'air dans la suspension.

Les bulles d'air, dont la dimension est contrôlée par <sup>le</sup> mode d'introduction, l'agitation et la présence d'un agent surfactant à l'interface liquide/gaz (le moussant), vont se fixer sur les particules dont la surface est hydrophobe. Sous l'action de la poussée d'Archimède résultante, de l'ensemble particule + bulle flotte à la surface du réacteur.

Suivant la quantité et le type de moussant, on peut former une écume dynamiquement stable à la partie supérieure de la cellule de flottation, dans laquelle vont se rassembler les particules qui flottent. L'écume enrichie en phase solide à séparer peut être enlevée de la cellule afin de former le concentré de flottation. La flottation peut être décomposée en un certain nombre d'opération élémentaires:

- a) adsorption de surfactants à cette interface ;
- b) modulation de l'adsorption de ces surfactants ;
- c) contact entre les particules solides et les bulles d'air ;
- d) transfert de l'agglomérat élémentaire particules/bulles dans l'écume.

Les phénomènes de base de flottation peuvent ainsi s'interpréter en termes de chimie physique des surfaces, mettant en jeu trois interfaces :

- L'interface solide/liquide
- L'interface liquide/gaz
- L'interface solide/gaz.

Le liquide, en tout état de cause, est une solution aqueuse, et le gaz, l'air à la pression ambiante. (1)

## **CHAPITRE : 2**

# **Théorie de la flottation**

## I Les phases en flottation

La phase gazeuse <sup>est</sup> représentée presque toujours par l'air atmosphérique.

La phase liquide dans la flottation a toujours été jusqu'à présent l'eau ou une solution aqueuse. On n'a pas employé d'autres liquides malgré l'importance que de tels essais pourraient avoir au point de vue de la théorie. D'autres liquides, en raison de leur prix ne pourraient être employés que pour des matières d'un prix élevé. Mais indépendamment de toute question de prix il n'y a pas de liquide plus convenable à la flottation que l'eau et ceci tient à un grand nombre de particularités sa forte polarité, conséquence de la dissymétrie de sa molécule ; sa constante diélectrique élevée (80) ; sa grande salubilité et réciproquement son grand pouvoir solvant ; son grand pouvoir ionisant et son affinité à former des hydrates.

Et c'est précisément l'hydratation par l'eau des ions fortement polarisés qui explique le mouillage des ions superficiels.

Toutes les matières en solution dans l'eau ne sont pas ionisées ou dissociées ; les gaz de l'air par exemple, et beaucoup de combinaisons organiques peuvent être dissoutes moléculairement par l'eau.

Dans les combinaisons organiques c'est précisément par les ions polaires de l'eau que les molécules sont en partie hydratées.

Cette dissociation de l'eau en ions hydrogène et hydroxyle joue un rôle de premier plan dans la flottation.

En flottation la phase gazeuse et la phase liquide sont en générale l'air et l'eau ; par contre la phase solide est très variable (12)



II. INTRODUCTION :

La flottation fait appel à la différence entre la masse volumique de solides ou de globules liquides et celle du liquide dans lequel ils sont en suspension. Toute fois, par opposition à la décantation, ce procédé de séparation solide liquide ou liquide liquide ne s'applique qu'à des particules dont la masse volumique réelle (flottation naturelle) ou apparente (flottation provoquée) est inférieure à celle du liquide qui les renferme.

La "flottation provoquée" tire parti de l'aptitude qu'ont certains solides ou liquides à s'unir à des bulles de gaz (l'air le plus souvent) pour former des ensembles (particule - gaz) moins denses que le liquide dont elles constituent la phase dispersée.

La résultante des forces (pesanteur, Poussée d'Archimède - force de résistance) conduit à un déplacement ascendant des ensembles "particule - gaz" qui se concentrent à la surface libre du liquide d'où ils sont éliminés.

Le mouillage d'un solide par un liquide se détermine par la mesure de l'angle de contact ou de raccordement formé par la surface du solide et la bulle de gaz. (5)

III. Hydrophobicité de surface :

La notion d'hydrophobicité de surface a une importance majeure dans la compréhension du phénomène élémentaire de la flottation, qui est le contact entre une bulle d'air et la surface d'un solide dans un liquide ; elle peut être conçue relativement simplement lorsque l'on s'attache au modèle de la fig 1

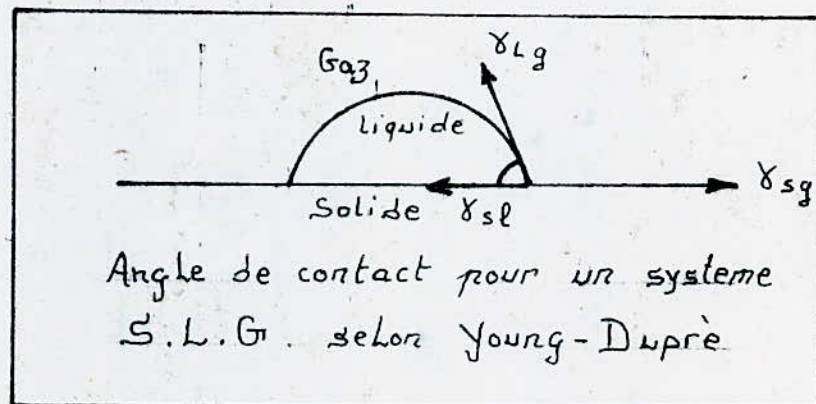


fig-1. : représente l'angle de contact pour un système S.L.G. selon Young-Dupré

$\gamma_{sg}$  : énergie interfaciale solide/gaz

$\gamma_{sl}$  : énergie interfaciale solide/liq

$\gamma_{lg}$  : " " Liq/Gaz

$\theta$  : Angle de contact

L'équilibre énergétique est obtenu par l'équation de young-Dupré

$$\gamma_{sg} - \gamma_{sl} = \gamma_{lg} \cos \theta$$

Le critère d'hydrophobicité est :

$$\gamma_{sg} - \gamma_{sl} > \gamma_{lg} \cos \theta \quad \text{ou} \quad \theta > 0$$

en pratique, des Angles de contact de l'ordre de  $30^\circ$  sont nécessaire pour assurer l'hydrophobicité nécessaire à la flottation. (1)

-Si  $\theta = 0^\circ$ , le mouillage du solide par le liquide est parfait ; l'adhérence (solide-gaz) est impossible

-Si  $\theta = 180^\circ$ , le mouillage du solide par le liquide est nul. le contact (solide-gaz) est optimal. En fait, il s'agit là d'un cas limite qui n'existe jamais dans la pratique.

Entre ces deux valeurs, l'adhérence "Particule-gaz" augmente avec la valeur de l'angle  $\theta$ . (5)

#### IV CINETIQUE DE LA FLOTTATION

##### Equation Générale.

Tous les auteurs s'accordent, à l'heure actuelle, à penser que la flottation est un processus du premier ordre par rapport à la concentration massique dans la pulpe de l'espèce qui flotte, la variation de la concentration en fonction du temps dans un reacteur discontinu (conditions de laboratoire) serait

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (1)$$

avec C, la concentration en solides à flotter au temps t.

La constante cinétique K de la flottation dépend d'un grand nombre de paramètres, comme les concentrations, en collecteur et en moussant, le débit d'air, la dimension des particules.

L'intégration de l'équation (1) donne la concentration dans la pulpe au temps t de l'espèce flottante.

$$C(t) = C_0 \exp(-Kt) \quad (2)$$

avec C<sub>0</sub> la concentration initiale pour t = 0 (1)

#### V INFLUENCES PHYSIQUES DANS LA FLOTTATION

##### V.1 1) Influence de la température

En flottation, la température agit sur l'adsorption, les réactions chimiques, la solubilité, l'oxydation sous ses différentes formes.

D'après le théorème de Gibbs, on a

$$a = - \frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$$

L'adsorption diminue sur une surface limite quelconque pour une température croissante .

Toutes les tensions superficielles (σ) diminuent de même quand la température croît ; le quotient différentiel  $\frac{d\sigma}{dt}$  est donc toujours négatif.

Donc il faut pour que l'élévation de la température améliore la flottation, que la tension superficielle particule air soit plus grande que la somme des tensions superficielles pulpe air (tension superficielle de la pulpe) et particule<sup>o</sup>pulpe, à la température donnée

Les travaux de Huber Panu sur la flottation des blends mardes montrent toujours une accélération de la flottation aux températures élevées (fig. 2).

Pour la chalcopyrite des courbes analogues montrent qu'à 40° C, la durée de flottation n'est que moitié de ce qu'elle est à 5° C. La récupération totale croît jusqu'à un maximum compris entre 23° et 40° C, pour décroître ensuite.

En général, une certaine élévation de température améliore la flottation, et à chaque type de particule correspond une température optima à déterminer par des recherches. (12)

#### V.2) La grosseur de grains en flottation

Indépendamment des propriétés superficielles des minéraux, leur poids spécifique influence la stabilité de leur union avec les bulles d'écume. Plus le poids spécifique est élevé, et plus la grosseur maximale des grains pouvant flotter est faible, à égalité bien entendu de propriétés superficielles.

La série des temps nécessaires à la flottation des différentes grosseurs de grains, montre que les particules grasses remontent plus vite dans l'écume que les plus fines. Lorsque la grosseur de grain diminue encore, et devient inférieure à 10  $\mu$ , la récupération et l'enrichissement diminuent beaucoup. Si la grosseur devient inférieure à 5  $\mu$ , une faible fraction seulement passe dans l'écume.

Une raison meilleure est que la finesse des particules diminue la probabilité de leur rencontre avec une bulle dans la pulpe.

Pour rendre flottables de très fines particules, plus petites que 5  $\mu$ , on doit les amener à s'agréger entre elles, à se flocculer.

-Choix du diamètre des bulles et du débit unitaire :

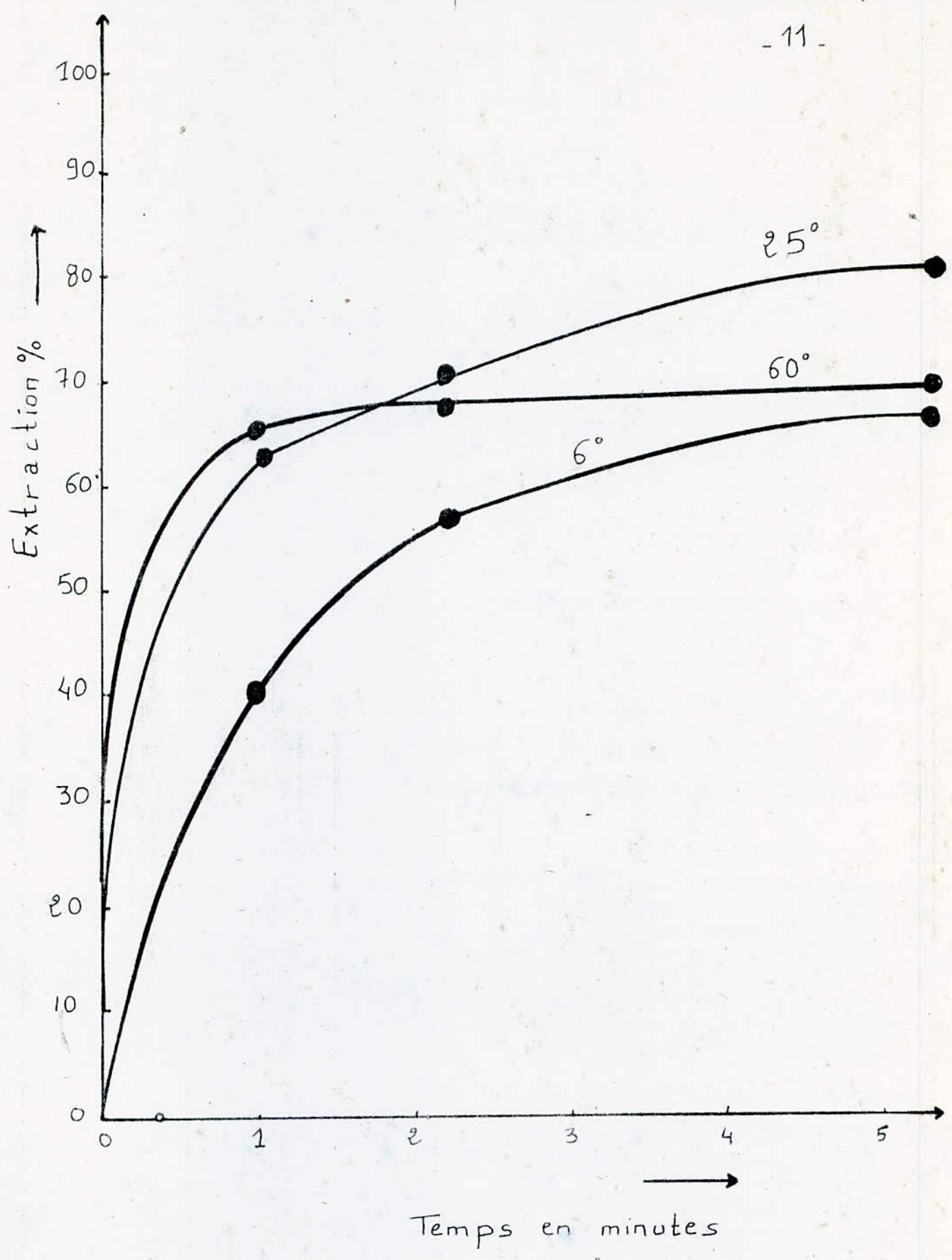


fig 2 : Influence de la température sur la glottation de la blende.

### V.3 - Choix du diamètre des bulles et du débit unitaire :

Les bulles d'air dans la pulpe peuvent avoir les dimensions les plus **différentes**, depuis une fraction de mm jusqu'à plusieurs mm (12)

Le diamètre idéal doit donc être le plus faible possible. Toutefois, la limite inférieure est donnée par la vitesse de descente du liquide qui permet de fixer une taille en dessous de laquelle les bulles sont entraînées par le courant d'eau, et donc perdues.

L'expérience montre qu'avec les procédés que nous décrirons plus loin, il est possible d'obtenir des bulles d'un diamètre moyen de  $80\mu$  à  $70\mu$ , ce qui représente le meilleur compromis.

En fait, hydrophobie des particules et diamètre des bulles sont les paramètres fondamentaux de la flottation. (6)

V.4 La mesure du nombre d'hydrogene en Flottation :

La mesure du pH au potentiomètre est rarement adoptée en flottation, en effet, cette méthode extrêmement sensible peut être troublée par un "empoisonnement" de l'électrode, et les poisons sont précisément des ions qui apparaissent constamment en flottation : comme ceux de l'alcool amylique du toluol, des cyanures, de l'ammonium, des thiosulfates, sulfhydrates et du soufre

Le procédé de mesure du pH par les indicateurs colorés est plus répandu en flottation. Ce procédé, dit procédé "colorimétrique" repose sur le changement de couleur de substances pour des valeurs de pH bien déterminées. (72)

#### V.5 -Influence du nombre d'ions d'hydrogène sur la flottation :

En raison de la grande influence que les ions libres exercent sur toutes les réactions chimiques, il faut s'attendre à ce que le pH des pulpes de flottation y joue un rôle important.

En flottation simple, l'influence du pH se manifeste par la variation du rendement.

Les raisons de l'influence du pH en flottation sont très diverses ; une réaction entre réactifs et particules peut changer complètement, et l'action du réactif, et la surface des particules.

Or les réactions entre sels dissous dans l'eau de la pulpe, ou provenant de dissolution des particules, seront tout à fait différentes, si le pH prend des valeurs différentes.

La solubilité des particules et de leur produits de décomposition est très différente avec des valeurs différentes de pH; leur action superficielle et leur adsorption peuvent en être grandement modifiées. (12)



# **CHAPITRE : 3**

## **Réactifs de flottation**

## LES REACTIFS DE FLOTTATION

### I Classification des réactifs de flottation

On distingue souvent les réactifs de flottation proprement dits, qui sont indispensables dans toute flottation, et les réactifs dits régulateurs qui ne sont ajoutés que sous certaines conditions particulières.

Les écumants sont les réactifs ajoutés à la pulpe pour produire de l'écume.

Les collecteurs sont destinés à unir les bulles d'air avec les particules à flotter (collection) et à provoquer leur enrichissement dans l'écume.

Beaucoup de substances jouissent de ces deux propriétés, elles agissent aussi bien comme collecteurs que comme écumants.

Les réactifs régulateurs qui agissent de manières diverses sur l'aptitude à flotter des particules en présence d'écumants et de collecteurs, se subdivisent en :

Réactifs de dépressinn, appelés aussi "déprésseurs ou déprimants". Ils ont pour effet de ~~diminuer~~ l'aptitude à flotter des particules que l'on desire ne pas voir monter avec les écumes, soit momentanément, soit définitivement ; ils doivent déprimer leur ascension dans la pulpe.

Les réactifs d'activation, ou "activeurs" doivent redonner de l'aptitude à flotter aux particules précédemment déprimés .

Les réactifs de renforcement ou "renforçateurs" ont pour effet d'augmenter l'aptitude à flotter des particules non flottables ou peu flottables.

## II EMPLOI DES REACTIFS DE FLOTTATION

Le nombre des reactifs de flottation est considerable, et il serait impossible de les mentionner tous.

Déjà en 1925, il a été pris en Amérique plus de deux mille brevets de reactifs de flottation et depuis le nombre de reactifs et celui des brevets n'a fait que croître

### II.1 . ECUMANTS

#### 1) Généralités.

Le nombre des reactifs écumants est réduit par les circonstances particulières à la flottation. La quantité à ajouter doit être aussi faible que possible, l'écume formée doit être durable et résistante pour pouvoir porter une charge de particules, la répartition dans la pulpe doit être facile et complète, leur action sur la surface des particules doit être faible, surtout l'action sur la surface limite eau-air.

#### 2) Les écumants utilisés en flottation.

Comme écumants, on propose les sels d'acides gras sulfanés, appelés aussi sulfate d'alcool gras  $\text{RSO}_4 \text{Na}$ , le plus utilisé est l'acétylsulfate de calcium  $(\text{C}_5 \text{H}_{11} \text{SO}_4)_2 \text{Ca}$

Le sel de sodium correspondant doit avoir une action moins favorable par suite de sa grande solubilité.

Les écumants les plus importants sont l'huile de pin et l'huile de sapin, dérivés hydroxylés du benzol. (12)

## II.2 COLLECTEURS

### Importance des collecteurs utilisés en flottations

Indépendamment des écumants, indispensables à toute flottation, il faut presque toujours ajouter à la pulpe des réactifs qui diminuent l'aptitude au mouillage par l'eau des particules, et qui en même temps favorisent leur union avec les bulles d'écume, ce sont les collecteurs.

Dès le début de la flottation, il a été reconnu que les surfaces de certaines particules surtout celles des sulfures des métaux lourds, s'unissent préférentiellement à certaines huiles en repoussant l'eau, sans que l'on puisse en donner les raisons. En 1921, C.C. Perkins a découvert qu'à la place des huiles, il était avantageux d'utiliser certaines substances organiques de structure chimique bien déterminée. En raisonnant sur les essais de laboratoire et sur la marche pratique de la flottation, on est arrivé à certaines connaissances sur la structure chimique des collecteurs.

Les collecteurs sont des substances organiques polaires-non polaires; elles agissent sur la surface des particules par réaction chimique, chemisorption ou adsorption pour les rendre plus difficiles à mouiller par l'eau, les rendre plus hydrophobes qu'elles ne l'étaient à l'état naturel dans la pulpe.

En raison des similitudes existantes entre les collecteurs et les écumants (ce sont tous deux des combinaisons polaires-non polaires) on s'explique que la plupart agissent en même temps comme collecteur et comme écumant; ils s'adsorbent en effet aussi bien à la surface limite eau-air, qu'à la surface des particules.

Plusieurs collecteurs écumants comme la dithiodéphenylamine  $(C_6H_4S-SC_6H_4)_2NH$  et la phenyléthylthiorée  $C_6H_5-NHCSNH_2$  sont collecteurs par leurs groupes polaires contenant du soufre, et écumants par leur groupe polaire d'amines. (12)

### II.3 Réactifs de flottation régulateurs.

Dans la flottation des particules de même espèce la simple addition d'un écumant et d'un collecteur n'est que rarement suffisante. Il faut presque toujours ajouter des réactifs dits régulateurs, leur rôle est d'influencer les propriétés superficielles des particules solides, d'une façon bien déterminée, et par conséquent la manière de se comporter en flottation. (12)

# **CHAPITRE : 4**

## **Machines de flottation**

## M a c h i n e d e f l o t t a t i o n

### I P r i n c i p e

Après un développement technique de plus de 70 ans, la conception des machines de flottation industrielle s'oriente actuellement vers une certaine homogénéité. La plus part des machines utilisées industriellement consistent essentiellement

Une structure géométrique, définissant la forme de la cellule, dans laquelle se trouvent placés des dispositifs suivants ;

Un agitateur (souvent constitué d'un rotor et d'un stator

Un dispositif permettant d'introduire l'air dans la cellule.

Les fonctions essentielles d'une cellule de flottation sont les suivantes :

- a) Mettre et Maintenir les particules en suspension ;
- b) Disperser les bulles d'air dans la pulpe ;
- c) Fournir les conditions appropriées pour le contact entre les bulles d'air et les particules hydrophobes .

La conception des cellules de flottations doit également leur permettre de répondre aux exigences suivantes :

- d) Assurer le transfert de toutes les particules de la pulpe entre le point d'alimentation et un des points de décharge (des écumes ou des produits non flottés) ;
- e) fournir les conditions de mélange parfait pour la pulpe ;
- f) assurer une zone de faible turbulence dans la partie supérieure afin de ne pas perturber l'écume ou réentraîner dans la pulpe des particules qui ont déjà flotté ;
- g) pouvoir être remise en route après arrêt (dû à une panne électrique) et sédimentation de la pulpe (l'air comprimé peut alors favoriser le démarrage). (1)

## M a c h i n e s d e f l o t t a t i o n

### II G é n é r a l i t é s

Une machine de flottation, pour être utilisable, doit présenter les caractères suivants : travail ininterrompu, production de bulles d'air aussi fines que possible et bien réparties dans toute la pulpe.

Une machine de flottation doit être d'une manoeuvre aussi simple que possible, être insensible aux irrégularités de la pulpe avoir tous ses organes facilement accessible, être de construction rapide et économique.

Le nombre de machines de flottation est énorme, surtout aux USA, nous ne pourrions décrire ici que les plus importantes. (1)

On peut <sup>les</sup> classer en trois groupes d'après la manière dont se fait l'aération de la pulpe :

1° Appareils à agitateurs tournants, dans lesquels l'air est aspiré, introduit par battage, ou insufflé uniquement par l'action mécanique des agitateurs tournants.

2° Appareils à agitateurs tournants dans lesquels l'air est introduit sous pression.

3° Appareils dans lesquels l'agitation est produite par une injection d'air comprimé dans la pulpe.

Le mode de circulation de la pulpe est une condition particulièrement importante pour qu'une machine de flottation travaille bien. Dans une pulpe, toutes les particules susceptibles de flotter ne sont pas recueillies en une seule fois par les bulles d'air, ce n'est que par des contacts répétés et aussi fréquents que possible des particules avec les bulles d'air, que l'on arrive à extraire de la pulpe toutes les particules désirées. (1)



III Les différents procédés de flottation :

III.1 Electroflottation.

L'électrolyse de l'eau produit un dégagement gazeux d'oxygène et d'hydrogène. Pour des tensions et des intensités bien définies et avec des électrodes appropriées, on peut ainsi produire des bulles gazeuses de 50 à 70  $\mu$  de diamètre.

Le dégagement gazeux suit la loi de Faraday :

$$m = \frac{M I t}{F \cdot n}$$

où m est la masse de gaz formée

I l'intensité du courant

t le temps

M la masse atomique du gaz

n la valence

et F une constante (Faraday)

On obtient pour 100 A/h, un dégagement théorique de 62 litres de gaz aux conditions normales. En fait, compte tenu des pertes joule dans l'électrode, le dégagement réel est d'environ 55 litres pour 100 A/h. Ceci représente un dégagement de 150 millions de bulles par seconde environ.

La dimension des bulles est fonction de la forme de l'électrode et de la tension appliquée. On peut ainsi dans une certaine mesure jouer sur ce paramètre.

Ce procédé est bon pour des petites quantités (utilisation au laboratoire) ; pour les grandes quantités le coût est cher du point de vue électrode et énergie. (6)

### III.2 Aéroflottation

Il s'agit d'un procédé dans lequel des bulles très fines (diamètre moyen de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$ ) sont créées in situ par la détente d'eau saturée en gaz (en règle générale, le gaz utilisé est de l'air, dissous à haute pression). Après dissolution du gaz, sa détente se fait en général à la pression ambiante, au travers d'un dispositif permettant de contrôler le mélange entre le flux de bulles d'air et la suspension à flotter.

A 20° C, on peut ainsi dissoudre dans l'eau 18 litres d'air par mètre cube et par kilo de pression effective.

La dimension des bulles varie avec la pression de pressurisation. Le diamètre moyen de la population de bulles émises décroît d'une manière linéaire lorsque la pression de pressurisation augmente. La dimension des bulles varie également légèrement avec le taux de saturation en air. On peut ainsi jouer sur le diamètre d'une manière plus nette que dans le cas de l'électroflottation. Cette possibilité permet, comme dans le cas précédent, d'optimiser la flottation en recherchant le compromis entre la vitesse, c'est-à-dire le débit, et le diamètre des bulles, c'est-à-dire l'efficacité.

Les populations de bulles produites par l'aéroflottation et par l'électroflottation sont voisines. (1-6)

### III.3 Flottation par injection d'air :

Ces appareils à air libre sont d'un usage économiques ; il est facile de nettoyer les tuyaux qui se recouvrent parfois d'une couche calcaire, et par conséquent d'éviter leur obturation. Au sorti des tuyaux, l'air doit être divisé, généralement sur toute la surface.

La cellule de flottation à buse conique radiale est en mesure de créer des petites bulles de gaz et de les étaler sur une petite surface de façon homogène. fig : 5

Les paramètres les plus importants sont

Le courant du liquid :  $q_l$

Le courant du gaz :  $q_m$

Le diamètre de la buse :  $d$

Ce procédé possède quelques avantages par rapport au "ROTOR - Stator" : (la grandeur des bulles, énergies, turbulences) ; mais présente un inconvénient de colmatage, la buse se colmate et arrête le fonctionnement y'aura plus de bulles d'air (5)

### III.4 Création de bulles d'air par le principe (ROTOR -STATOR) :

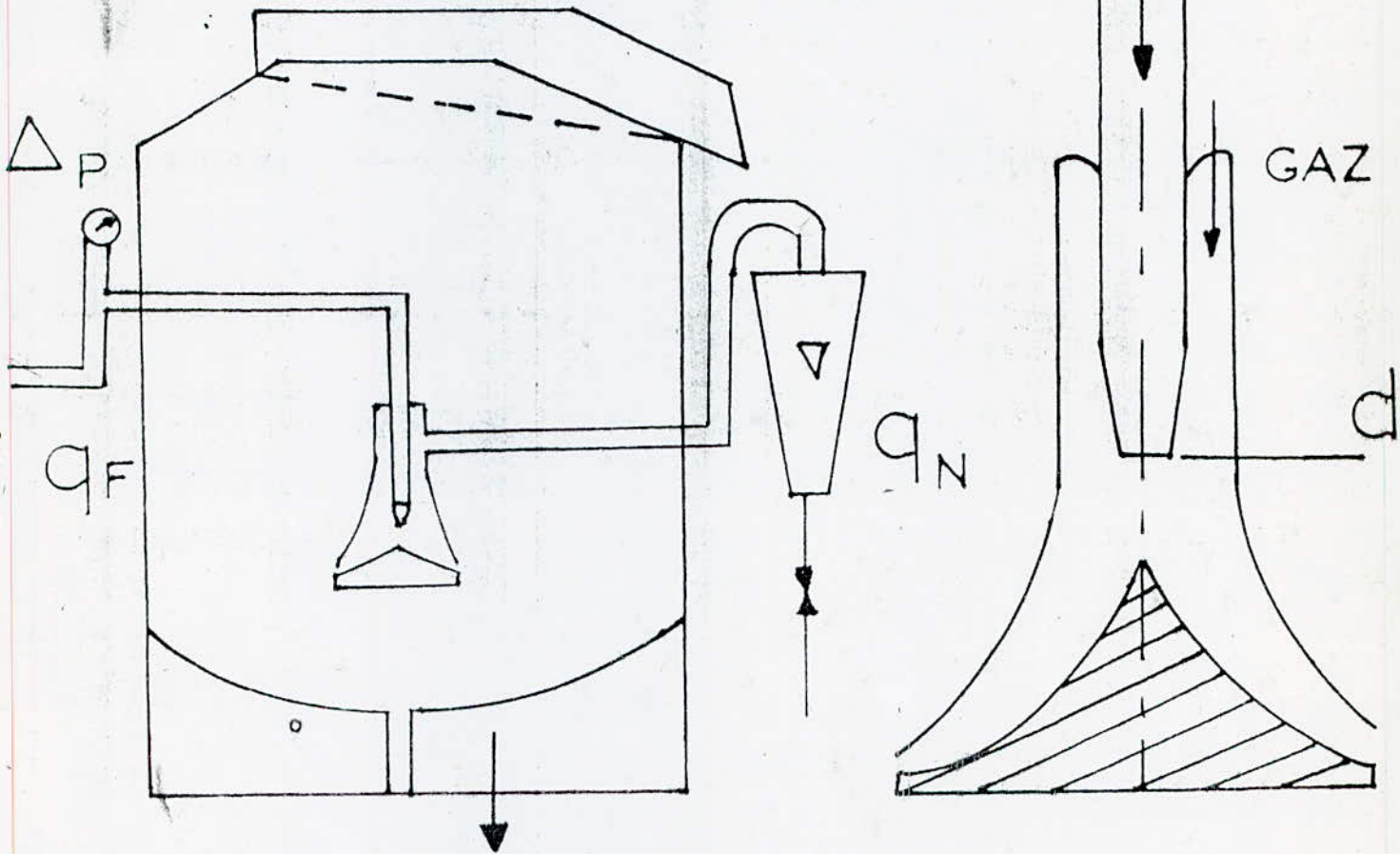
Ce procédé est utilisé pour le charbon et pour la préparation des minerais où sont utilisées des cellules de flottation de grand volume. Elles travaillent selon le principe (rotor-stator).

L'agitation empêche la sédimentation du composé solide et d'autre part permet une distribution homogène du mélange air-Particule dans la cellule.

Les inconvénients de ce principe :

- a) haute turbulence,
- b) formation de bulles de gaz trop grande.
- c) temps de séjour élevé,
- d) une grande perte d'énergie
- e) fragmentation des petites particules.

FLOTTATION PAR INJECTION  
D'AIR



CELLULE DE FLOTTATION

FIG: 3

## **CHAPITRE : 5**

### **Les boues ( Généralités )**

### Généralités sur les boues :

Il n'existe pas de traitement d'épuration d'eau qui n'aboutisse à la production de résidus concentrés contenant les matières de pollution et les produits de transformation insolubles.

Ces résidus appelés boues, ont diverses origines.

Il convient de les traiter d'une manière rationnelle, économique, sans pour autant conduire à d'autres nuisances.

Selon leur origine, les boues ont une composition différente qu'elles proviennent d'un traitement d'eau potable, d'un procédé physico-chimique ou biologique, d'une eau usée urbaine ou industrielle.

La nature de la boue est donc liée à la composition de l'effluent traité, et aussi aux techniques de traitement utilisées.

On distingue deux types de boues :

- les boues à caractère essentiellement minéral ou assimilable
- les boues à caractère organique.

Dans une station d'épuration d'eau usée urbaine, la récupération des boues provient :

- des traitements primaires ;
- du décanteur primaire ;
- du décanteur secondaire

Il y a lieu de distinguer dans un tel cas, les boues fraîches (primaires et secondaires) et celles qui ont stabilisées (ou digérées).

Les boues primaires sont très hétérogènes et sont constituées de 65 à 70 % de matière organiques putrescibles.

Leur teneur en eau est de 90 à 95 %.

Les boues secondaires présentent une teneur en matière organique égale à 75 % et une teneur en eau d'environ 99 % .

Ce type de boues a une teneur en matières organique dépendant fortement du traitement utilisé. (8)

## I CARACTERISTIQUES D'UNE BOUE.

Une boue est caractérisée par divers paramètres dépendant de son origine, et de sa nature

### -1) Siccité.

Elle définit la concentration en matières sèches d'une boue, et s'exprime en g/l ou en % massique.

### -2) Viscosité.

La viscosité d'une boue varie de 10 à 30 centipoises.

Elle dépend de l'aptitude de l'épaississement de la boue.

### -3) Combustibilité.

Il s'agit de déterminer si les calories produites par une fraction combustibles des boues est supérieure aux calories nécessaires à l'évaporation de l'eau et celle perdues lors de la combustion.

### -4) Valorisation.

La valorisation des boues trouve son intérêt lorsque celle ci présentent une composition chimique intéressante pour l'agriculture.

Il est logique que la valeur fertilisante d'une boue soit mesurée par son pourcentage d'azote, de phosphore et de potasse. (8)

## II L'ÉPAISSISSEMENT DES BOUES.

L'épaississement constitue, en fait, le premier stade de la réduction de volume des boues.

Cette étape se situe avant la digestion.

Deux techniques sont le plus souvent utilisées pour l'épaississement :

- la décantation ou sédimentation
- la flottation

Principe de l'épaississement

L'épaississement consiste à séparer par gravité (décantation) ou par flottation, l'eau interstitielle des particules de boues.

L'épaississement par gravitation.

Cette technique consiste à introduire la suspension boueuse dans un ouvrage appelé épaisseur de façon à permettre une concentration des boues au fond de l'ouvrage.

Épaississement par flottation.

Cette technique consiste à diminuer la masse apparente des boues par adsorption de fines bulles de gaz et d'en provoquer l'entraînement vers la surface.

La mise en place de ce dispositif d'épaississement permet :

- d'appliquer des charges spécifiques plus importantes.
- de réduire les dimensions de l'ouvrage.
- d'obtenir des boues plus épaisses que par l'épaississement gravitaire. (8)

o



## **CHAPITRE : 6**

# **Réalisation et description de la cellule de flottation**

Description de la cellule de flottation :

° Dans le cadre de notre étude, nous avons été amenés à réaliser une cellule de flottation (voir figure 4) dans le but de séparer les boues provenant des procédés de traitement des eaux usées industrielles.

Cette cellule a les caractéristiques suivantes :

- Une capacité d'environ 26 litres
- L'aération est assurée par un compresseur ; les bulles d'air ainsi formées ont pour rôle de faire monter les particules à la surface libre de la cellule.
- Le diamètre des bulles varie entre 1 et 2 mm (voir photos) (A - B)
- Cette cellule fonctionne avec des débits d'air bien précis, afin d'éviter les grandes turbulences ce qui aurait pour effet la destruction de la couche des boues formées à la surface.
- Pour plus de détail voir annexe.

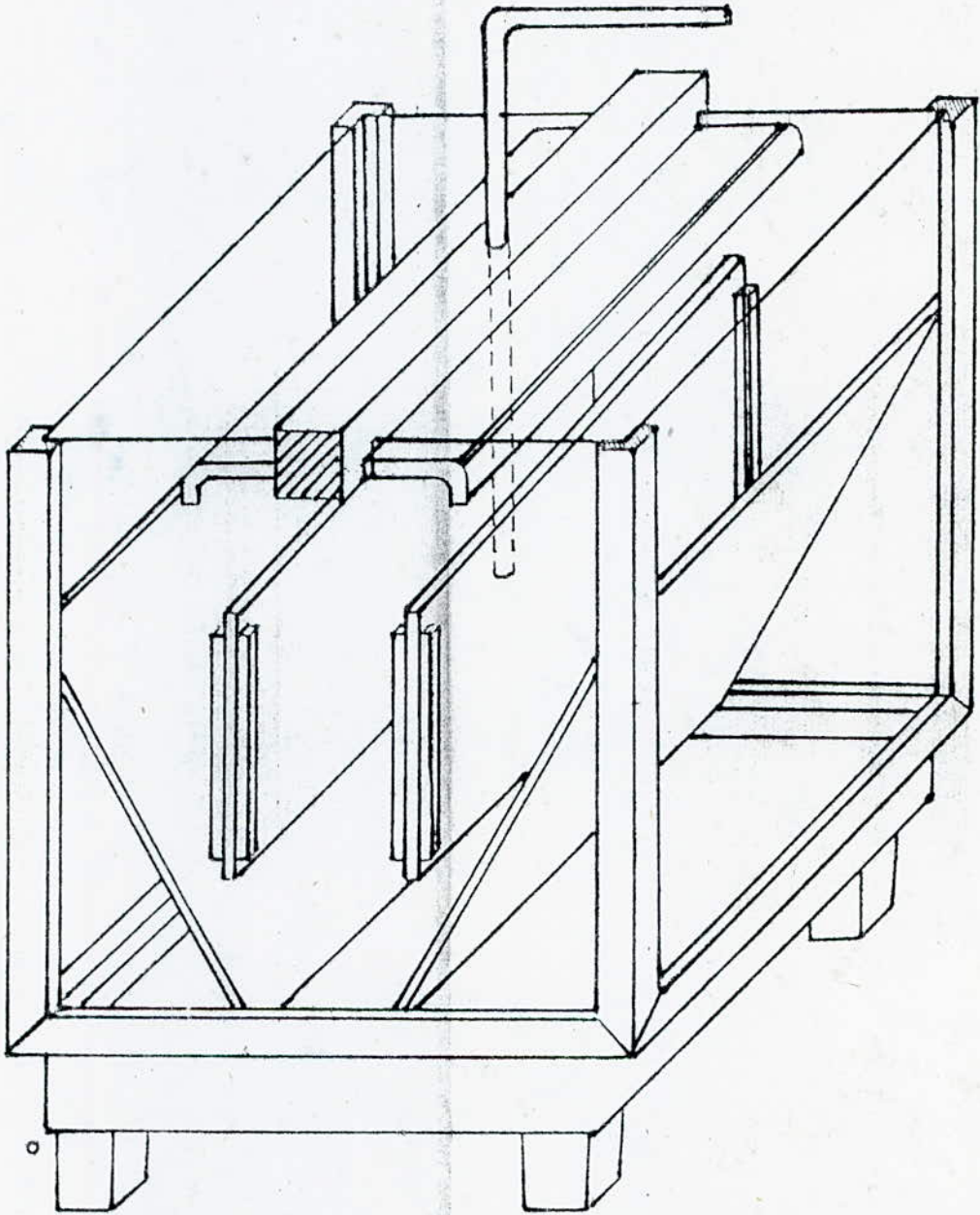
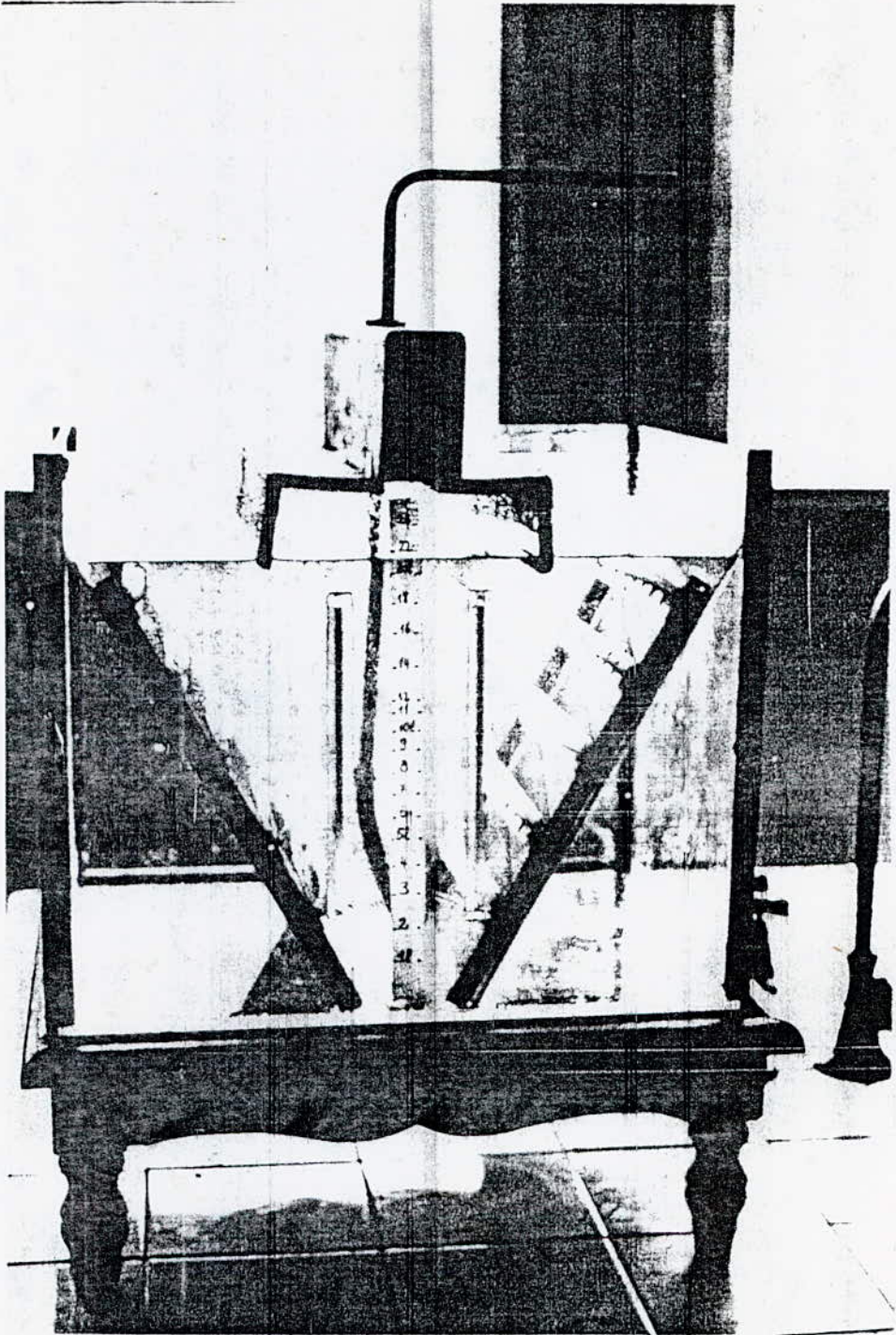


Fig 4 : cellule de flottation

# **CHAPITRE : 7**

## **Partie expérimentale**



*photo : A*

avant le **FONCTIONNEMENT**

# lors du FONCTIONNEMENT

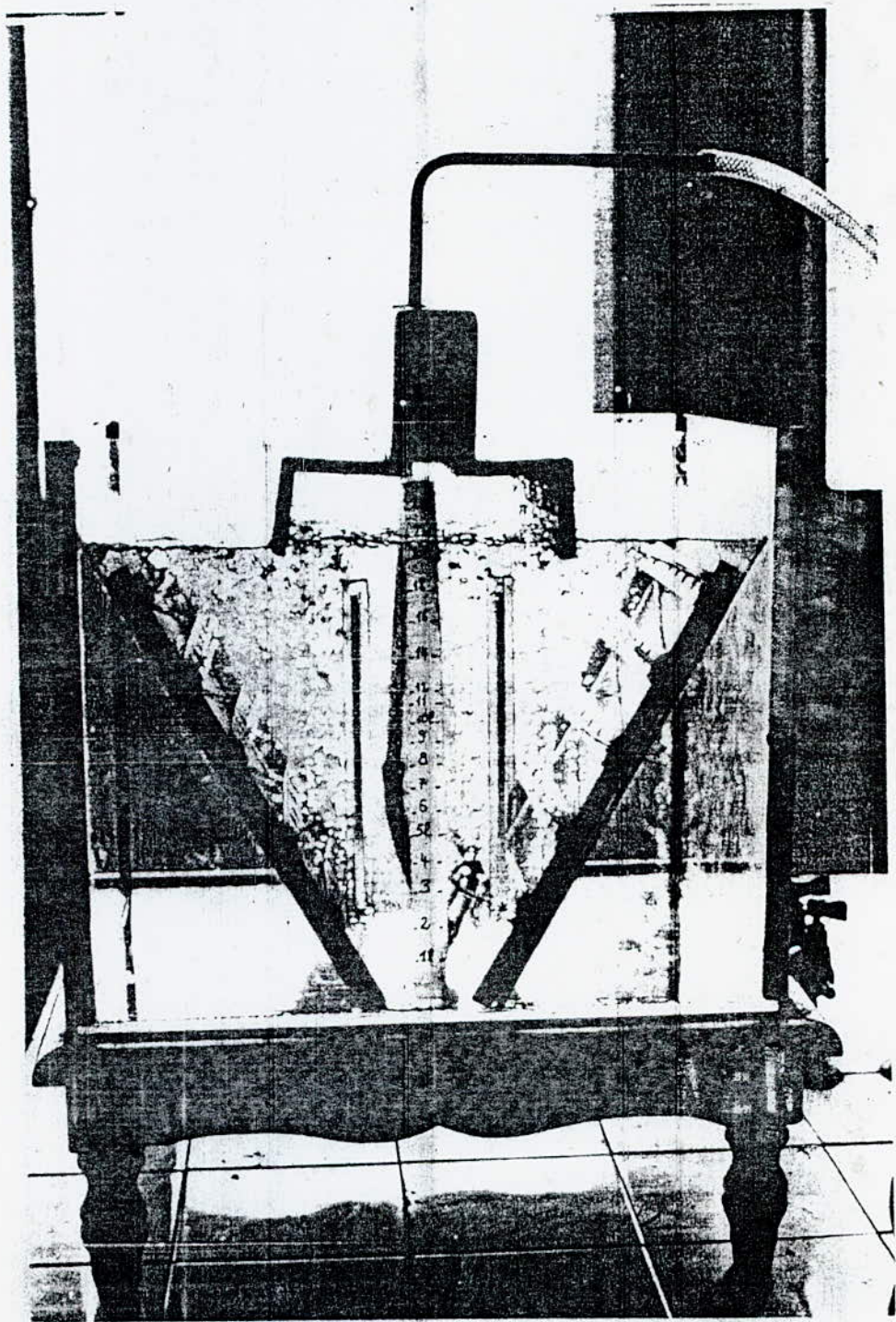


photo : B

L'étude de l'efficacité de la Flottation nécessite la détermination du taux de récupération.

- boues utilisées :

Les boues utilisées sont les boues de la SNVI et de la COTITEXE provenant du bassin de décantation (décanteur primaire et celle de Baba-Ali a été prélevée directement au niveau du collecteur de rejet.

- caractéristiques des boues (voir Annexe)

- Mode Opératoire :

- Détermination du taux de récupération :

Nous introduisons une masse  $m_0$  connue de boue dans la cellule, de manière à avoir un volume total de la solution égal à 10 l. ensuite nous agitons pour homogénéiser la concentration et nous déclançons le compresseur qui assure l'aération.

Après un intervalle de temps bien défini nous arrêtons le compresseur et récupérons la matière flottée au niveau de la surface libre par raclage manuel.

La matière récupérée est introduite dans l'étuve à 105° C pendant 24 h pour une deshydratation totale.

La matière sèche obtenue est pesée et le taux de récupération est donné par  $\frac{m'}{m_0} \times 100$

avec  $m'$  : la masse de boue flottée après séchage.

Nous répétons cette opération plusieurs fois en faisant varier toujours  $m_0$  mais en introduisant d'autres paramètres tels que :

PH, Collecteurs.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux I, II, III .....

Remarque :

Pour chaque expérience la cellule doit être bien nettoyée, dans le but d'avoir une bonne aération (problème de colmatage du système d'aération), et pour éviter les erreurs que pourrait induire ce colmatage.

$m_0$  = masse de boue initiale

$m'$  = masse de boue flottée

$C_0$  = Concentration initiale des boues

$C_f$  = Concentration superficielle

$\frac{m'}{m_0} \times 100$  = Taux de récupération

$t$  = le temps

les collecteurs utilisés :

- Sulfate de cuivre ( $Cu SO_4$ )

- Acide almitique

et comme agent moussant l'huile de pin.

o



# Boue de la S.N.V.I

variation du taux de recuperation en  
fonction du temps

$$C_0 = 4,392 \text{ g/l}$$

| $t$ (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5        | 43,92      | 0,158     | 4,392        | 3,950        | 0,36                       |
| 10       | "          | 0,209     | "            | 5,225        | 0,475                      |
| 20       | "          | 0,231     | "            | 5,775        | 0,525                      |
| 30       | "          | 0,232     | "            | 5,800        | 0,528                      |

Tableau I

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 8,684 \text{ g/l}$$

| $t$ (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5        | 86,84      | 0,290     | 8,684        | 8,285        | 0,380                      |
| 10       | "          | 0,506     | "            | 16,170       | 0,510                      |
| 20       | "          | 0,525     | "            | 17,510       | 0,605                      |
| 30       | "          | 0,613     | "            | 25,310       | 0,705                      |

Tableau II

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

bove de la SNVI

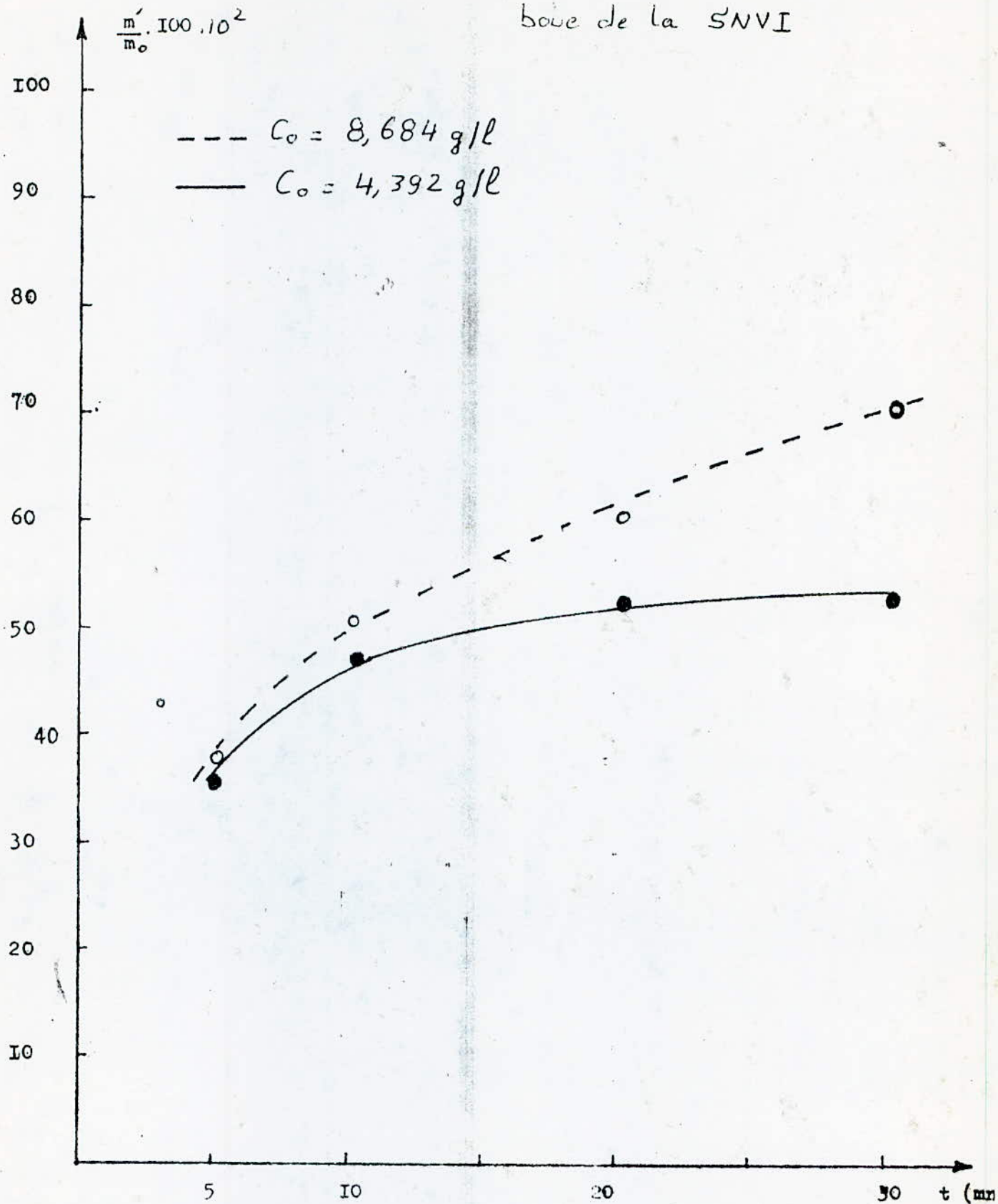


fig:5 : Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 12,976 \text{ g/l}$$

| $t$ (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5        | 129,76     | 0,532     | 12,976       | 13,300       | 0,410                      |
| 10       | "          | 0,675     | "            | 16,875       | 0,520                      |
| 20       | "          | 0,791     | "            | 17,577       | 0,609                      |
| 30       | "          | 1,011     | "            | 25,270       | 0,779                      |

### Tableau III

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 17,368 \text{ g/l}$$

| $t$ (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5        | 173,68     | 0,798     | 17,368       | 17,730       | 0,460                      |
| 10       | "          | 1,003     | "            | 22,280       | 0,577                      |
| 20       | "          | 1,380     | "            | 30,660       | 0,794                      |
| 30       | "          | 1,789     | "            | 39,750       | 1,030                      |

### Tableau IV

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

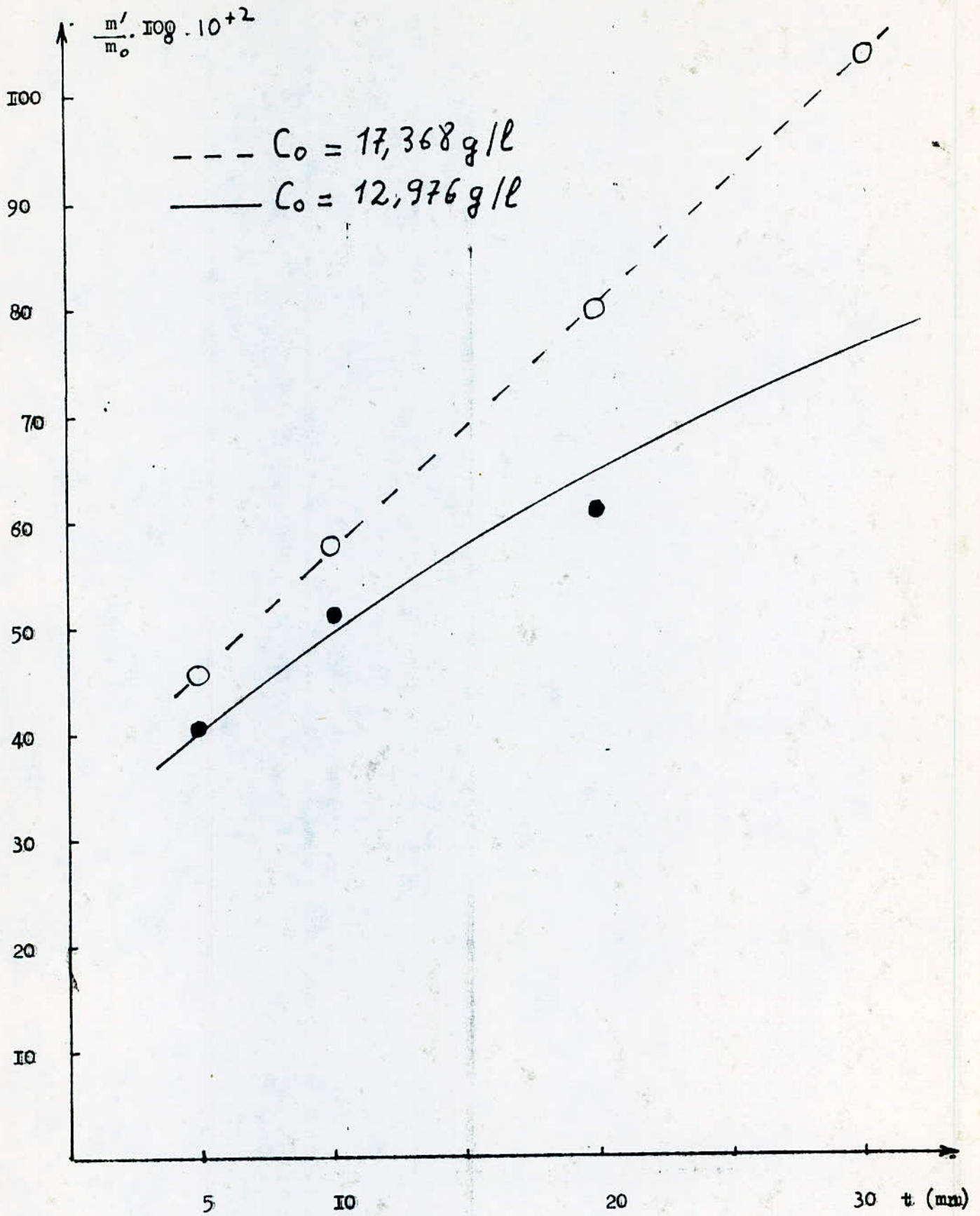


fig 6 : Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 21,86 \text{ g/l}$$

| $t$ (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5        | 218,6      | 1,440     | 21,86        | 22,15        | 0,65                       |
| 10       | "          | 2,157     | "            | 33,18        | 0,98                       |
| 20       | "          | 2,281     | "            | 35,09        | 1,04                       |
| 30       | "          | 3,525     | "            | 54,23        | 1,61                       |

### Tableau V

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 32,64 \text{ g/l}$$

| $t$ (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5        | 326,4      | 3,341     | 32,64        | 33,41        | 1,02                       |
| 10       | "          | 4,30      | "            | 43,08        | 1,32                       |
| 20       | "          | 4,876     | "            | 48,76        | 1,49                       |
| 30       | "          | 7,507     | "            | 75,07        | 2,29                       |

### Tableau VI

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

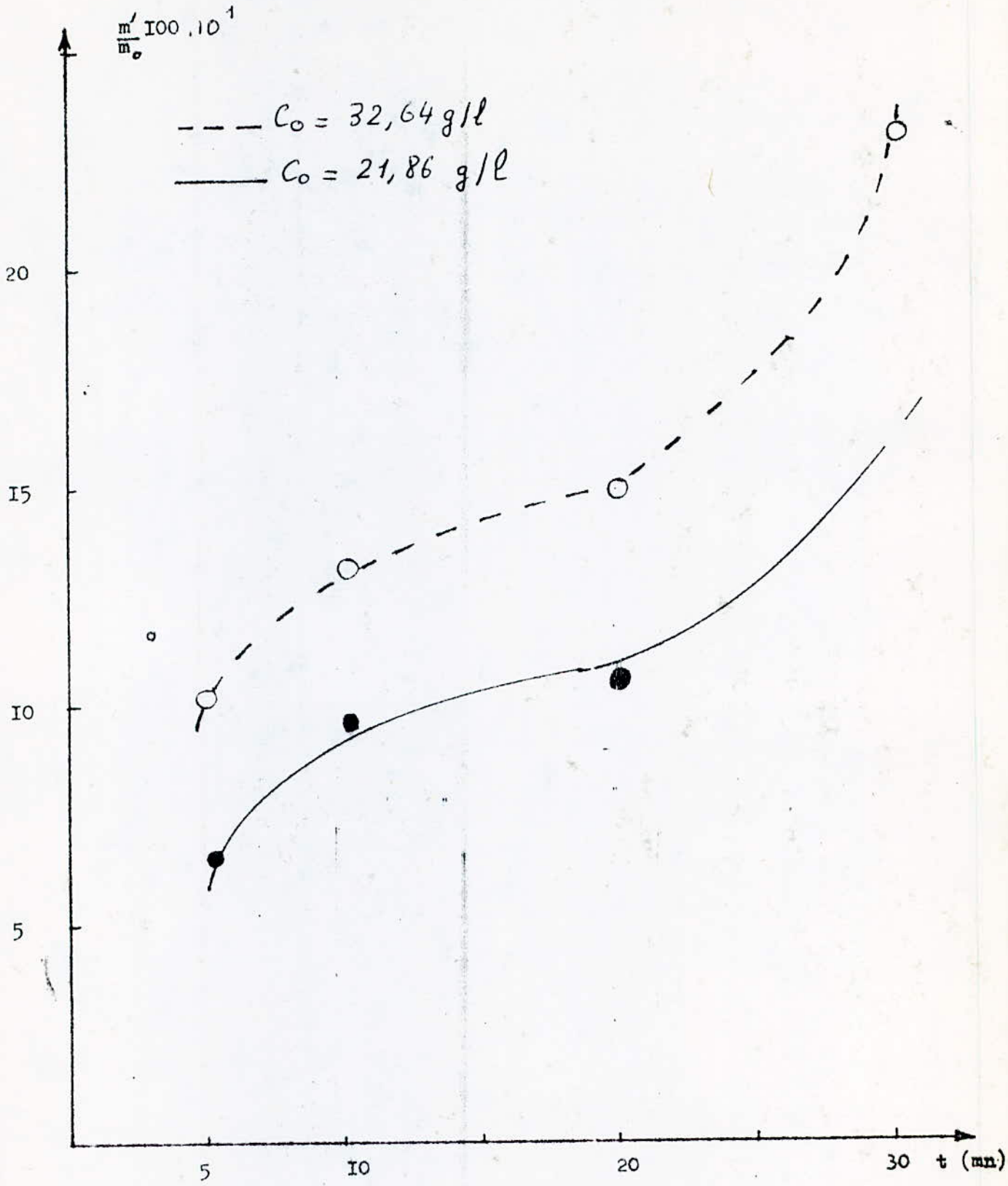


fig 7 : Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 43,52 \text{ g/l}$$

| $t$ (min) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|-----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5         | 435,2      | 5,321     | 43,52        | 44,34        | 1,22                       |
| 10        | "          | 8,180     | "            | 68,18        | 1,88                       |
| 20        | "          | 10,480    | "            | 87,33        | 2,41                       |
| 30        | "          | 10,705    | "            | 89,21        | 2,46                       |

Tableau VII

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 54,78 \text{ g/l}$$

| $t$ (min) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $\frac{m'}{m_0} \cdot 100$ |
|-----------|------------|-----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 5         | 547,8      | 16,656    | 54,78        | 138,80       | 3,04                       |
| 10        | "          | 15,978    | "            | 133,15       | 2,91                       |
| 20        | "          | 14,77     | "            | 123,08       | 2,70                       |
| 30        | "          | 13,640    | "            | 113,66       | 2,49                       |

Tableau VIII

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

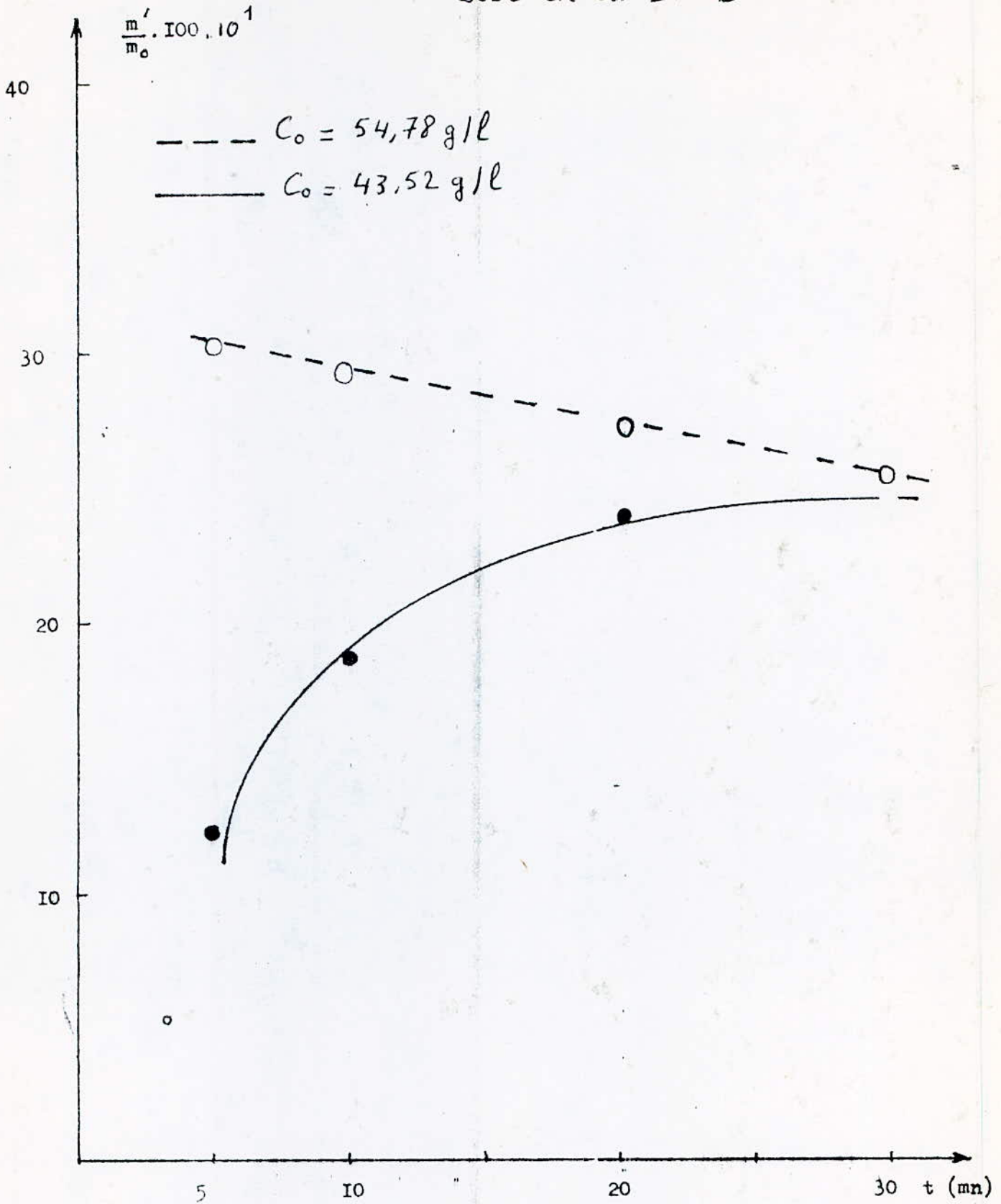


Fig 8: Variation du taux de recuperation en fonction du temps



bove de la SNVI

$$C_0 = 103,04 \text{ g/l}$$

| t (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $c_0$ (gr/l) | $c_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|--------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5      | 103,410    | 77,181    | 103,04       | 257,28       | 7,49               |
| 10     | 1030;4     | 70;800    | "            | 236,02       | 6,87               |
| 20     | "          | 54,810    | "            | 182,70       | 5,32               |
| 30     | "          | 46,321    | "            | 154,40       | 4,49               |

Tableau IX

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

boue de la SNVI

$$C_0 = 103,04 \text{ g/l}$$

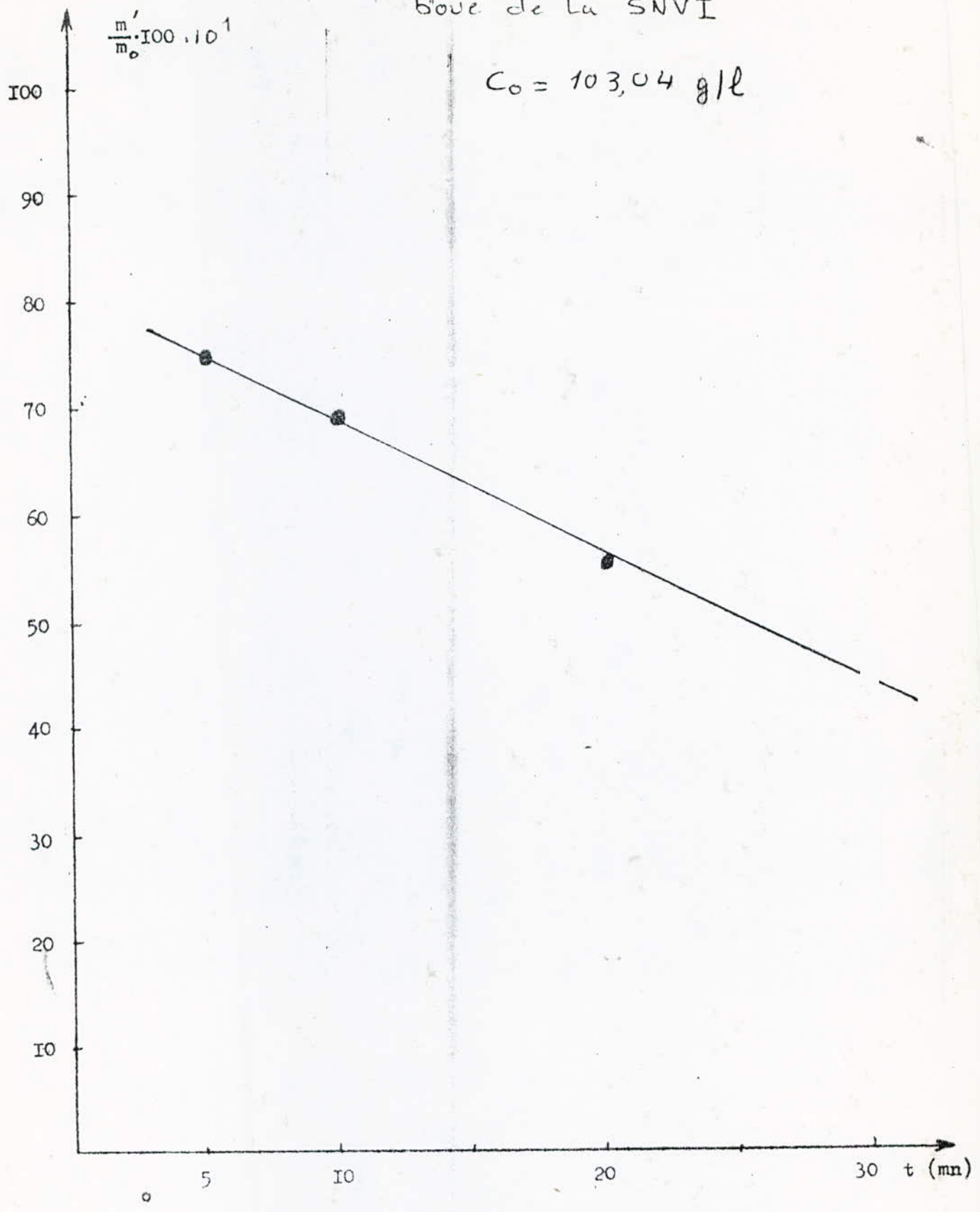


fig 9: Variation du taux de récupération en fonction du temps

bove de la COTITEX  
 variation du taux de récupération - 44 -  
 en fonction du temps

$C_0 = 17,83 \text{ g/l}$

| t (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|--------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5      | 178,35     | 0,271     | 17,83        | 18,06        | 0,15               |
| 10     | "          | 0,276     | "            | 18,40        | 0,15               |
| 20     | "          | 0,306     | "            | 20,40        | 0,17               |
| 30     | "          | 0,334     | "            | 22,26        | 0,18               |
| 40     | "          | 0,370     | "            | 24,66        | 0,20               |
| 50     | "          | 0,401     | "            | 26,73        | 0,22               |
| 60     | "          | 0,465     | "            | 31,00        | 0,26               |

Tableau I'

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$C_0 = 35,67 \text{ g/l}$

| t (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|--------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5      | 356,7      | 0,335     | 35,67        | 33,50        | 0,09               |
| 10     | "          | 0,356     | "            | 35,60        | 0,10               |
| 20     | "          | 0,416     | "            | 41,60        | 0,11               |
| 30     | "          | 0,428     | "            | 42,80        | 0,12               |
| 40     | "          | 0,463     | "            | 46,30        | 0,13               |
| 50     | "          | 0,499     | "            | 49,90        | 0,14               |
| 60     | "          | 0,592     | "            | 59,20        | 0,16               |

Tableau II'

variation du taux de recuperation en fonction du temps

boue de La COTITEX

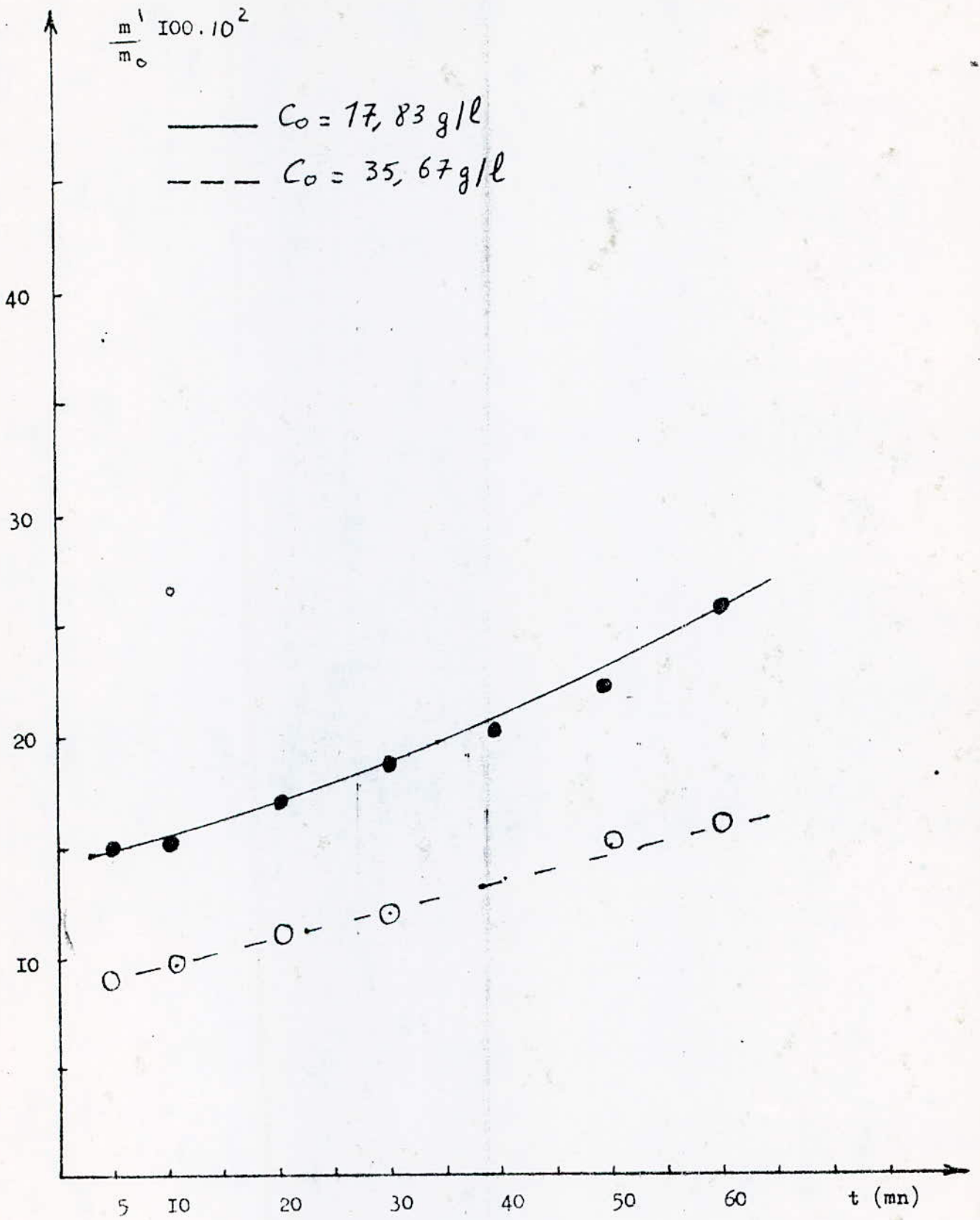


fig 10: variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 53,50 \text{ g/l}$$

| t (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|--------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5      | 535,05     | 0,374     | 53,50        | 42,          | 0,06               |
| 10     | "          | 0,4       | "            | 42,8         | 0,08               |
| 20     | "          | 0,602     | "            | 60,2         | 0,11               |
| 30     | "          | 0,601     | "            | 60,10        | 0,11               |
| 40     | "          | 0,628     | "            | 62,8         | 0,11               |
| 50     | "          | 0,628     | "            | 62,8         | 0,11               |
| 60     | "          | 0,626     | "            | 62,6         | 0,11               |

Tableau III'

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 71,34 \text{ g/l}$$

| t (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|--------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5      | 713,4      | 0,706     | 71,34        | 70,60        | 0,09               |
| 10     | "          | 0,784     | "            | 78,40        | 0,11               |
| 20     | "          | 1,009     | "            | 100,90       | 0,14               |
| 30     | "          | 1,070     | "            | 107,00       | 0,15               |
| 40     | "          | 1,105     | "            | 110,50       | 0,15               |
| 50     | "          | 1,120     | "            | 112,00       | 0,15               |
| 60     | "          | 1,082     | "            | 108,20       | 0,15               |

Tableau IV'

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

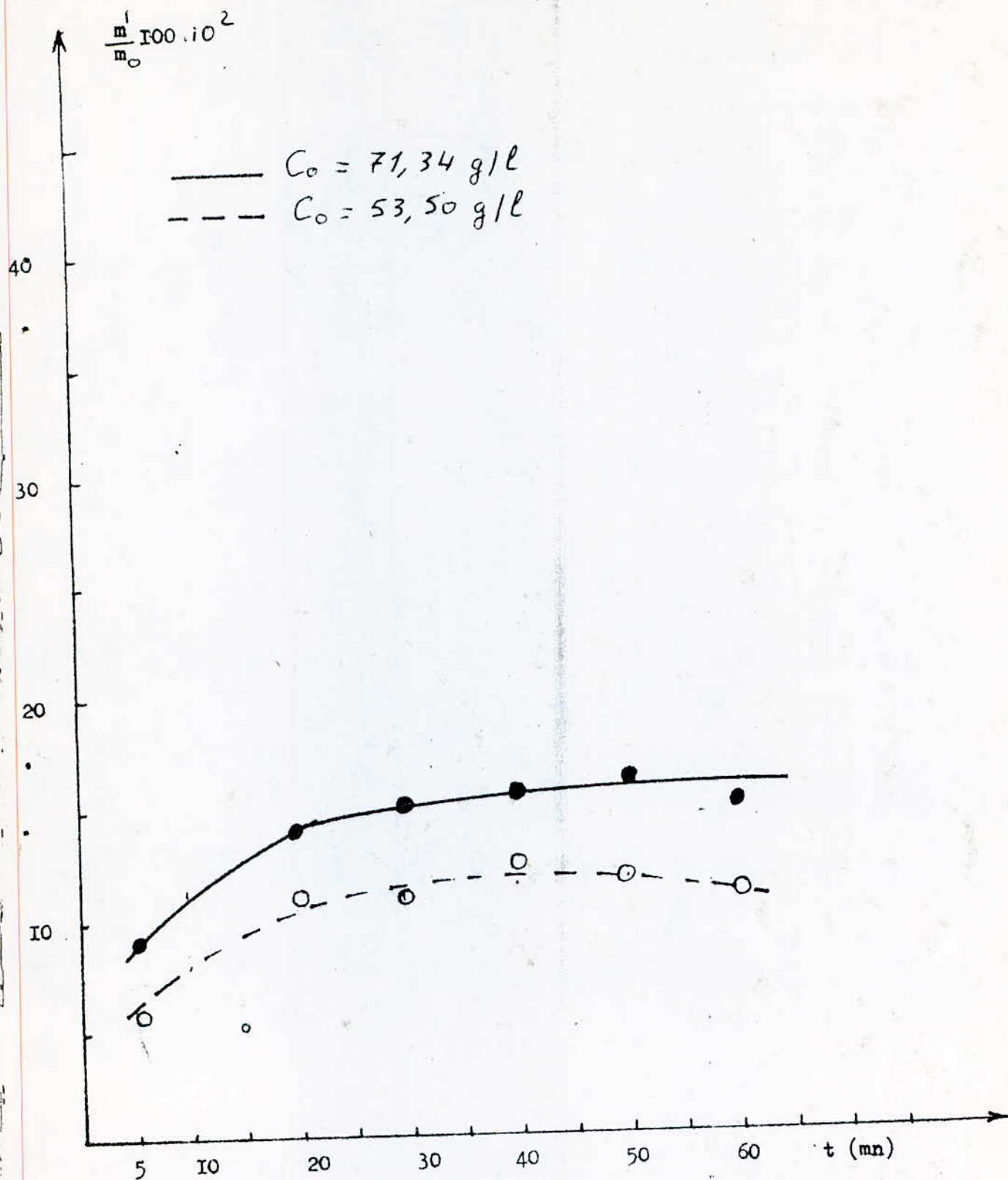


fig 11 : Variation du taux de recuperation  
en fonction du temps

$$C_0 = 89,17 \text{ g/l}$$

| t (mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m/m_0 \cdot 100$ |
|--------|------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|
| 5      | 891,75     | 0,765     | 89,17        | 76,50        | 0,08              |
| 10     | "          | 0,824     | "            | 82,40        | 0,09              |
| 20     | "          | 1,035     | "            | 105,(5       | 0,11              |
| 30     | "          | 1,088     | "            | 108,50       | 0,12              |
| 40     | "          | 1,114     | "            | 111,40       | 0,12              |
| 50     | "          | 1,136     | "            | 113,60       | 0,12              |
| 60     | "          | 1,158     | "            | 115,80       | 0,12              |

Tableau V'

Variation du taux de récupération en fonction du temps

$$C_0 = 178,35 \text{ g/l}$$

| t(mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $M/m_0 \cdot 100$ |
|-------|------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|
| 5     | 1783,5     | 1,271     | 178,35       | 127,10       | 0,07              |
| 10    | "          | 1,277     | "            | 127,70       | 0,07              |
| 20    | "          | 1,306     | "            | 130,60       | 0,07              |
| 30    | "          | 1,765     | "            | 176,50       | 0,09              |
| 40    | "          | 1,694     | "            | 169,40       | 0,09              |
| 50    | "          | 1,872     | "            | 187,20       | 0,10              |
| 60    | "          | 2,255     | "            | 225,50       | 0,12              |

Tableau VI'

Variation du taux de récupération en fonction du temps

boue de La COTITEX

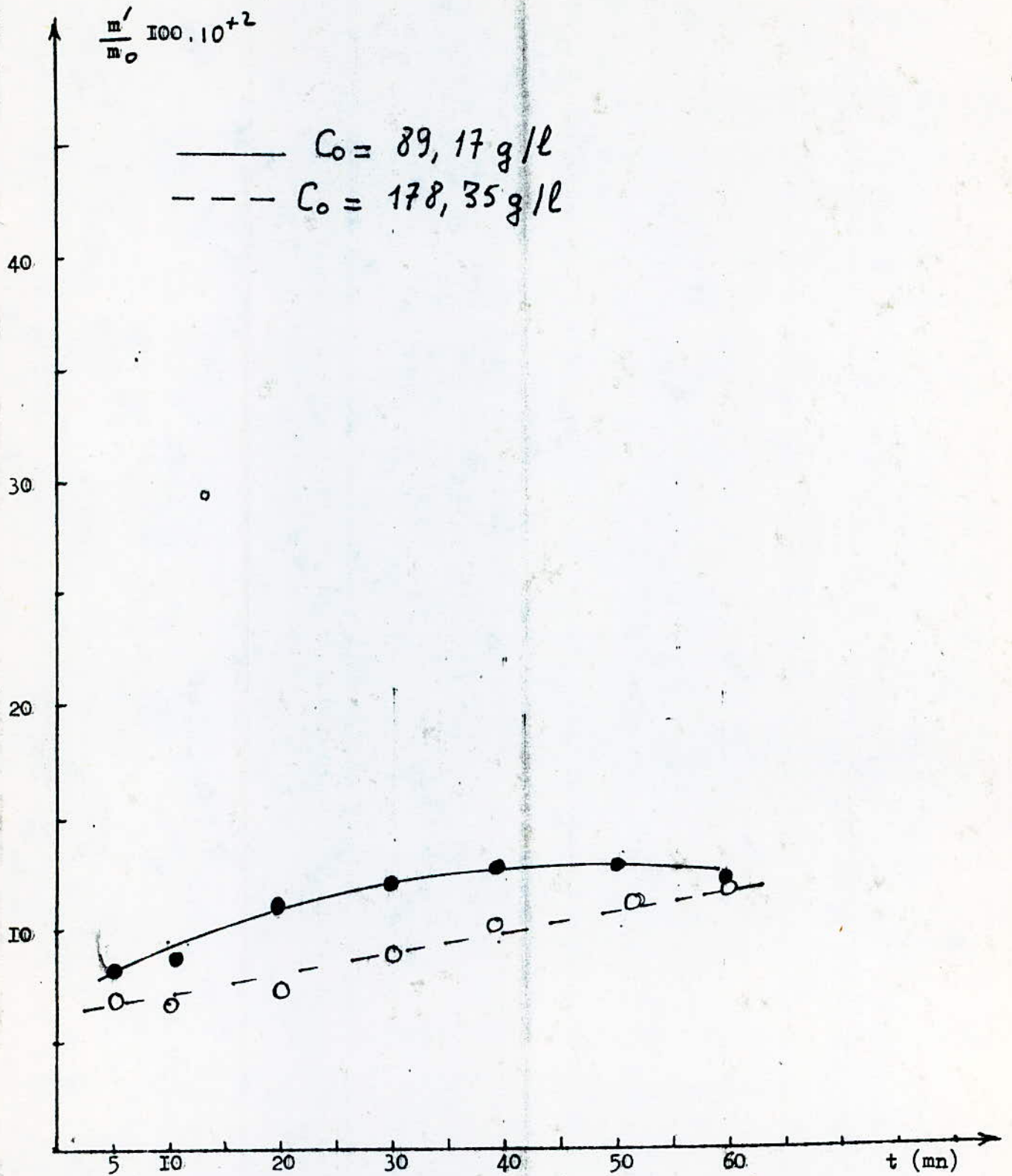


fig 12: Variation du taux de recuperation en fonction du temps



$$C_0 = 70,47 \text{ g/l} \quad (\text{sans collecteurs})$$

| t (mn) | m (gr)  | m (gr) | C (gr/l) | C (gr/l) | m/m . 100 |
|--------|---------|--------|----------|----------|-----------|
| 5      | 704,775 | 1,076  | 70,47    | 71,73    | 0,15      |
| 20     | "       | 1,313  | "        | 87,53    | 0,18      |
| 30     | "       | 1,712  | "        | 114,13   | 0,24      |

Tableau - A -

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

$$C_0 = 70,47 \text{ g/l} \quad (\text{avec collecteurs})$$

| t (mn) | m (gr)  | m (gr) | C (gr/l) | C (gr/l) | m/m . 100 |
|--------|---------|--------|----------|----------|-----------|
| 5      | 704,775 | 1,079  | 70,47    | 71,93    | 0,15      |
| 20     | "       | 1,373  | "        | 91,53    | 0,19      |
| 30     | "       | 1,929  | "        | 128,60   | 0,27      |

Tableau - B -

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

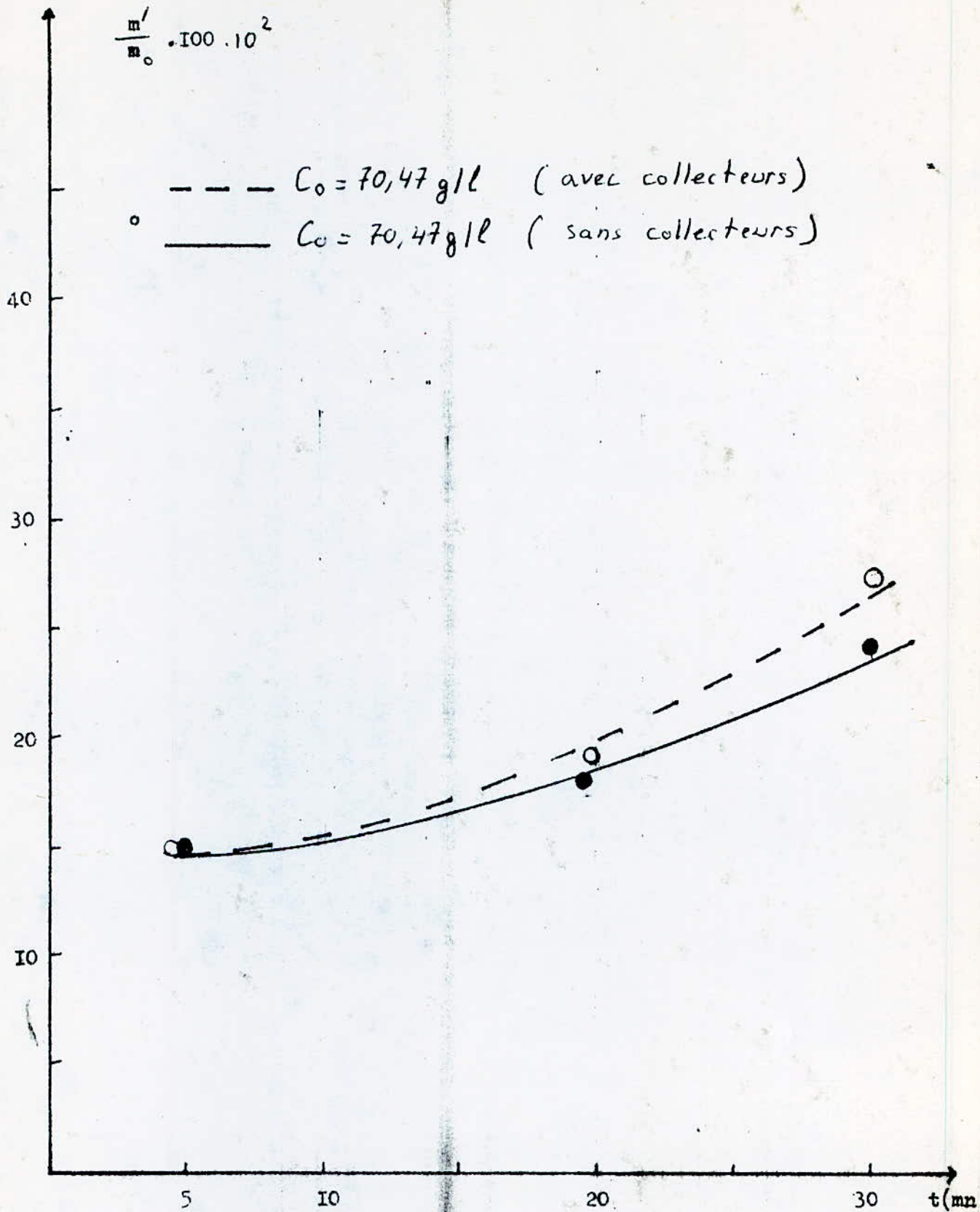


fig 13 : Variation du taux de recuperation  
en fonction du temps

boue de la COTITEX

Variation du taux de récupération  
en fonction du pH  
(avec collecteurs)

$C_0 = 70,47 \text{ g/l}$

| <u>pH</u> | 4      | 6      | 8      | 10     | 12     |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t (mn)    | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     |
| m (gr)    | 704,77 | 704,77 | 704,77 | 704,77 | 704,77 |
| m (gr)    | 14,097 | 11,047 | 0,550  | 0,557  | 0,510  |
| C (gr/l)  | 70,47  | 70,47  | 70,47  | 70,47  | 70,47  |
| C (gr/l)  | 140,97 | 110,47 | 36,65  | 35,24  | 34,00  |
| m/m.JCO   | 2,00   | 1,56   | 0,07   | 0,07   | 0,07   |

Tableau - C -

Variation du taux de recuperation en fonction  
du pH

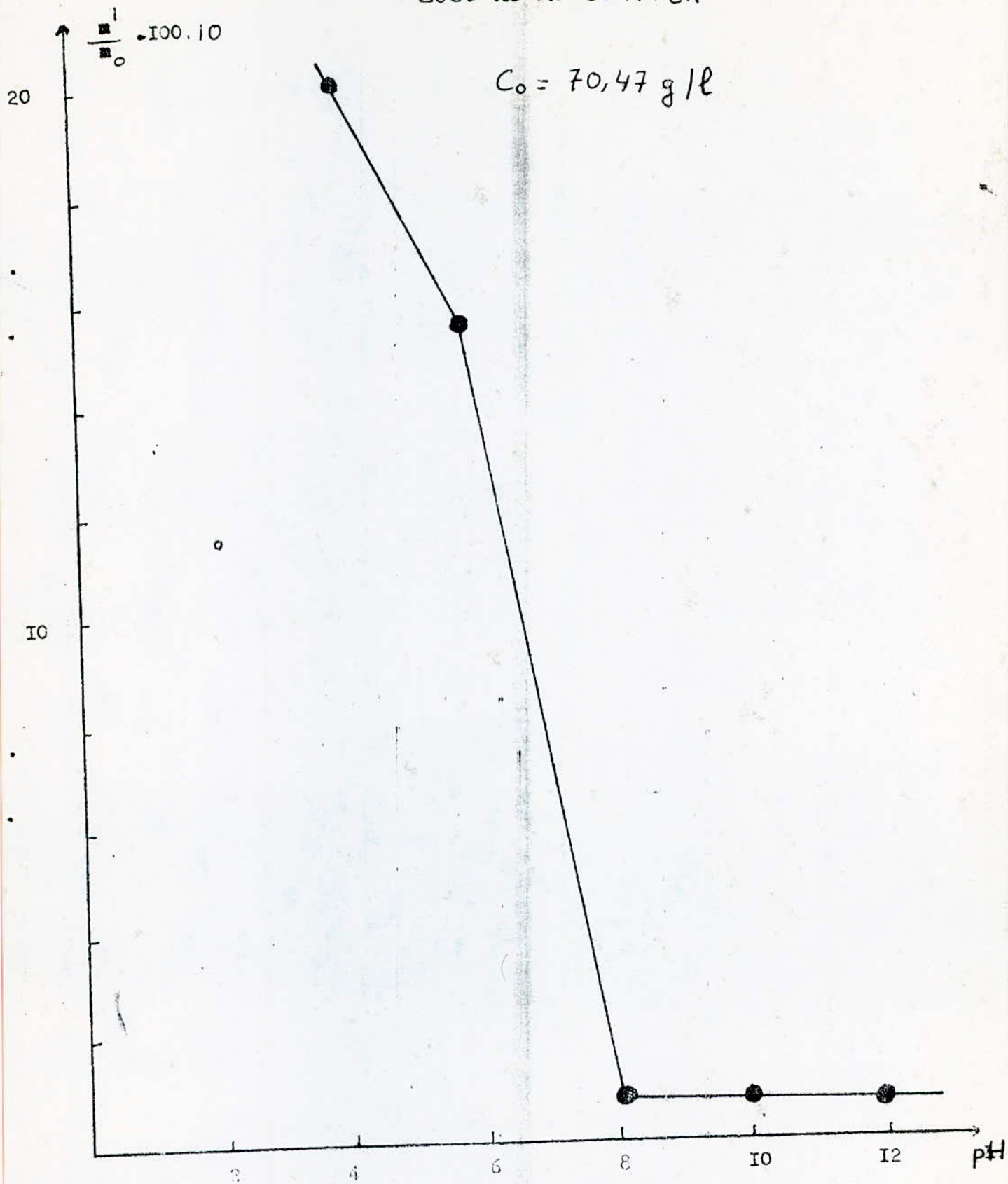


fig 14 : Variation du taux de recuperation en fonction du pH

Boue de la COTITEX  
(avec collecteurs)

- 54 -

$$C_0 = 178,35 \text{ g/l}$$

| t(mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|-------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5     | 1783,5     | 3,100     | 178,35       | 155,00       | 0,17               |
| 20    | "          | 8,886     | "            | 444,30       | 0,49               |
| "     | "          | 9,13      | "            | 481,54       | 0,54               |
| 60    | "          | 10,541    | "            | 527,05       | 0,59               |

Tableau **D**

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

Boue de la papeterie

$$C_0 = 7 \text{ g/l}$$

| t(mn) | $m_0$ (gr) | $m'$ (gr) | $C_0$ (gr/l) | $C_f$ (gr/l) | $m'/m_0 \cdot 100$ |
|-------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| 5     | 70,01      | 3,266     | 7,00         | 8,16         | 4,66               |
| 10    | "          | 2,638     | "            | 6,595        | 3,76               |
| 40    | "          | 0,471     | "            | 4,71         | 0,67               |

Tableau **E**

Variation du taux de recuperation en fonction du temps

boue de La COTITEX

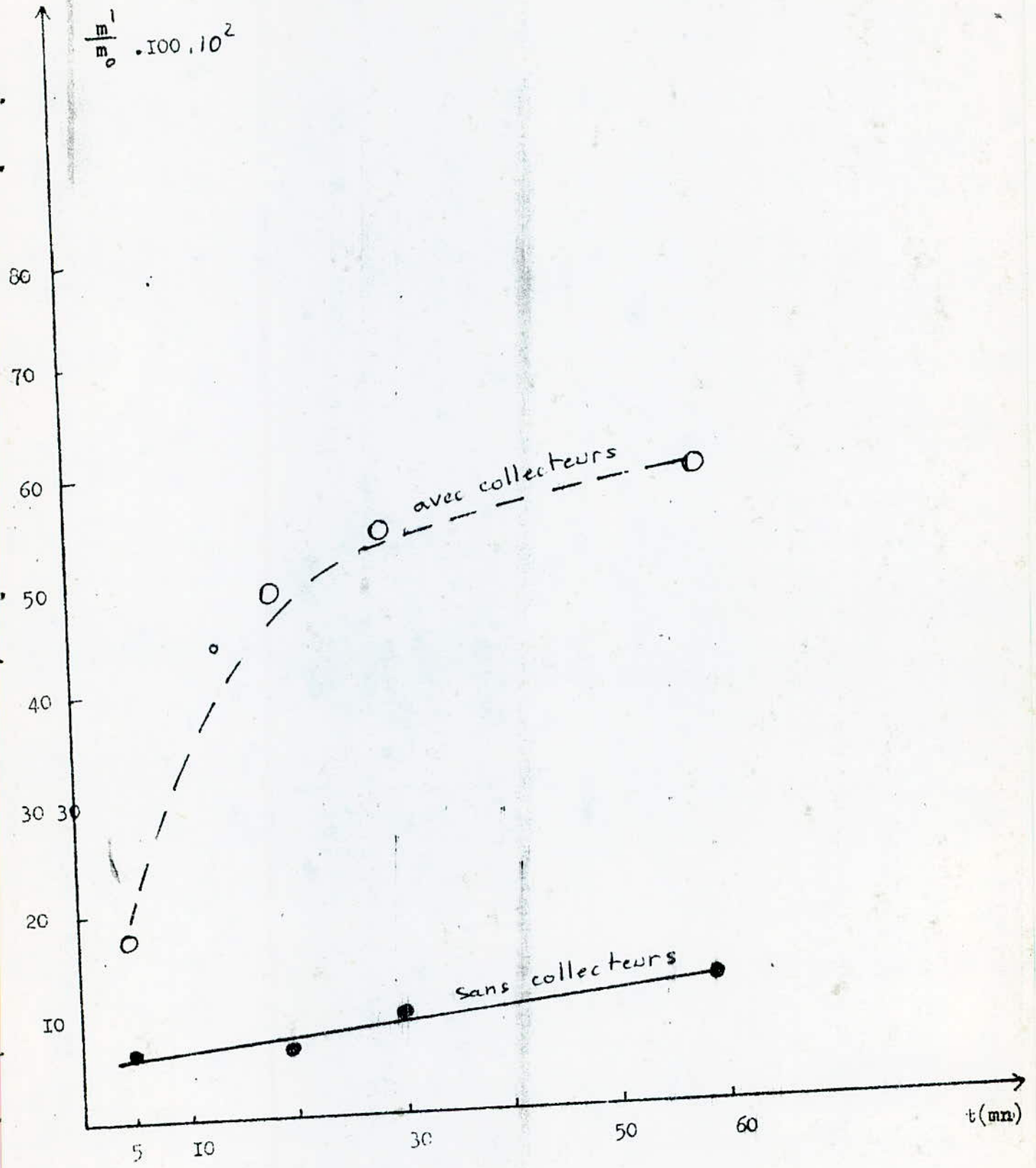


fig 15: Variation du taux de recuperation en fonction du temps

bove de la papeterie

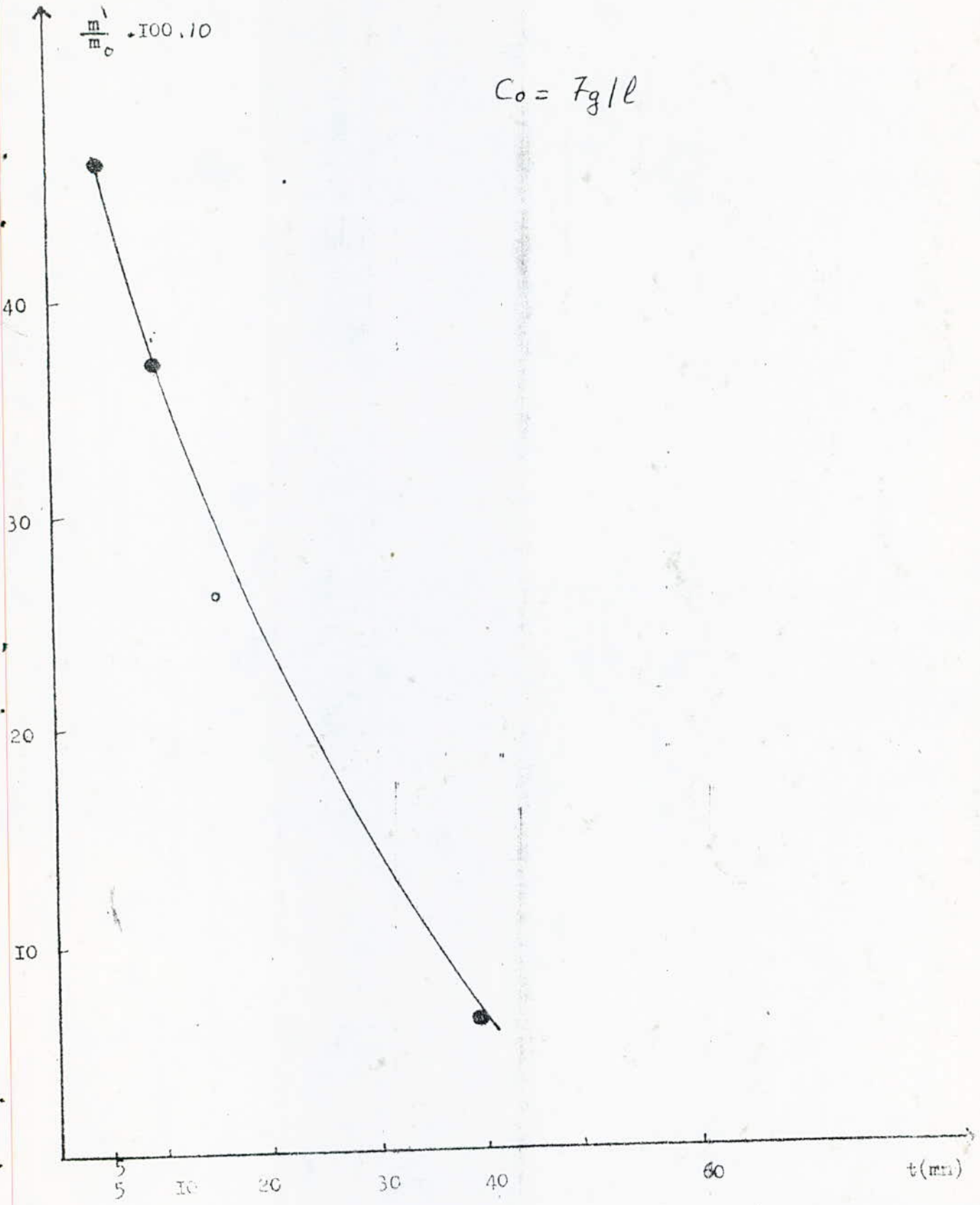


fig 16 : Variation du taux de recuperation en fonction du temps

boue de la COTITEX  
(avec variation du pH)

$$C_0 = 140,28 \text{ g/l}$$

| pH            | 12     | 10     | 6      | 4      | 2       |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| t(mn)         | 15     | 15     | 15     | 15     | 15      |
| $m_0$ (gr)    | 1402,8 | 1402,8 | 1402,8 | 1402,8 | 1402,8  |
| $m'$ (gr)     | 8,602  | 21,423 | 67,453 | 94,550 | 108,297 |
| $C_0$ (gr/l)  | 140,28 | 140,28 | 140,28 | 140,28 | 140,28  |
| $G_f$ (gr/l)  | 86,02  | 214,23 | 337,17 | 344,64 | 360,99  |
| $m/m_0 ; 100$ | 0,61   | 1,52   | 4,80   | 6,74   | 7,72    |

Tableau-F-

Variation du taux de recuperation en fonction du pH



boue de la COTITEX

$m/m_0 \cdot 100 \cdot 10$

$C_0 = 140,28 \text{ g/l}$

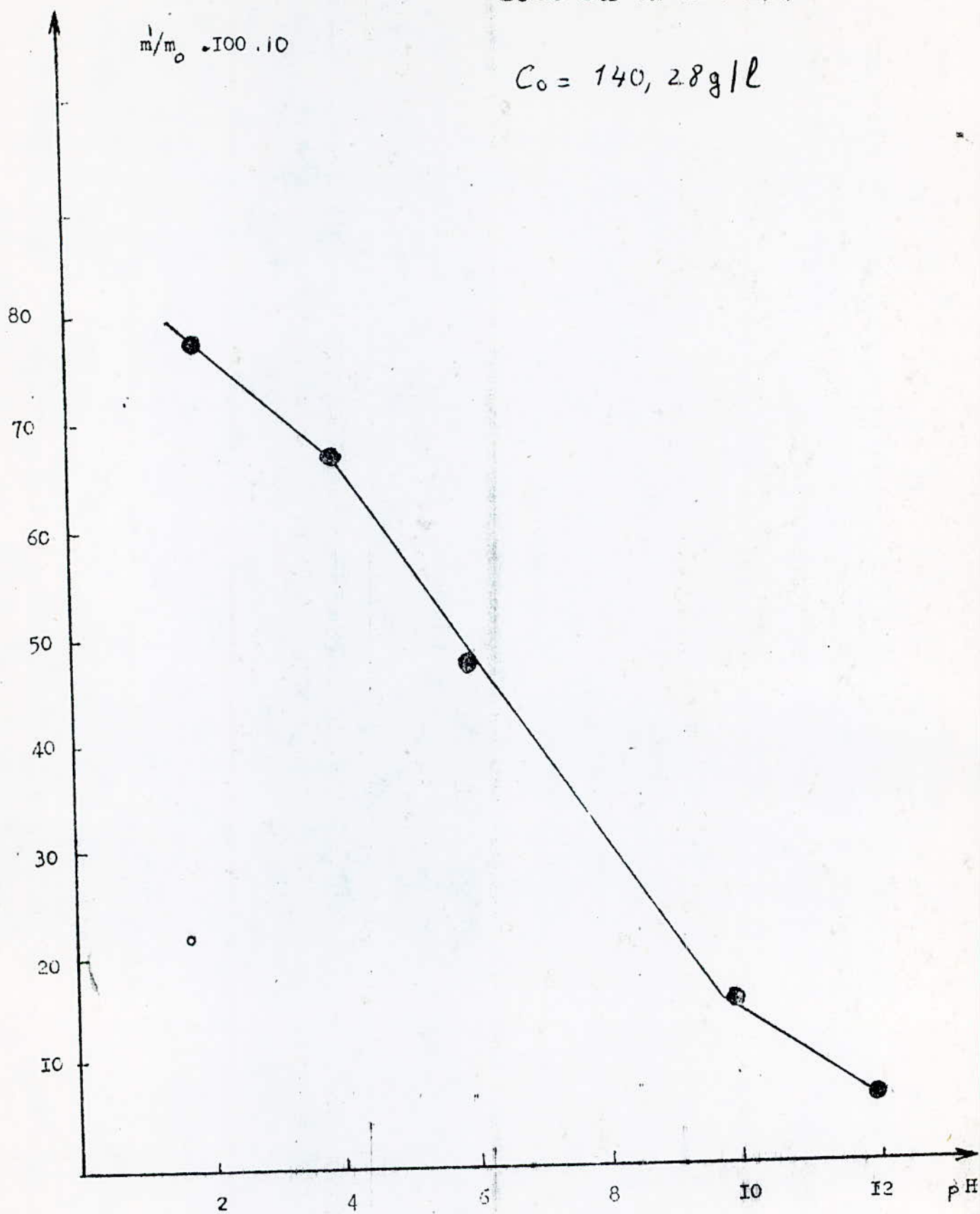


fig 17: Variation du taux de recuperation en fonction du pH

# **CHAPITRE : 8**

## **Interprétation des résultats**

Interprétation des résultats :

-boue de la SNVI :

Les tableaux I, II, III ... VII montrent que le taux de récupération croît avec l'augmentation de la concentration, et cela peut se traduire par la grande probabilité de rencontre bulles-particules; cette probabilité de dépend essentiellement :

- du nombre de bulles.
- de la section d'une bulle (section de capture),
- de la turbulence régnant dans le milieu.

D'après les tableaux viii et IX nous pouvons dire que le facteur temps influence sur le taux de récupération.

L'expérience a montré qu'il y'a une bonne flottation entre 3 et 5 mn, car les particules n'ont pas le temps de se regrouper, par contre lorsque le temps est compris entre 20 et 30 mn, il a été observé qu'une couche de boue s'est déposée au fond de la cellule, donc c'est la décantation qui est favorisée malgré la grande probabilité de rencontre bulles-particules.

Boue de textile

L'expérience a montré que le taux de récupération est presque constant malgré la variation de la concentration des boues. (voir tableaux

I', II', III' ... VI' ) .

L'obtention de ce résultat peut être interprétée comme suit :

tout d'abord on signalera que les particules qui constituent les boues textile sont très fines, cette finesse présente de multiples problèmes de flottation :

en raison de leur faible masse :

-la probabilité de collision entre une bulle d'une dimension donnée et une petite particule est faible,

-la quantité de mouvement de ces particules est faible et ne leur permet pas de vaincre facilement la résistance des films d'eau au voisinage de bulles d'air (qui ont par ailleurs des dimensions beaucoup plus importantes que les particules) ,

--mauvaise aptitude des bulles à se fixer sur les particules.

Donc on peut dire que dans ce cas la flottation est mauvaise et cela se confirme par la formation d'une couche épaisse de boue au fond de la cellule.

-boue textile (Plus collecteurs)

pour une concentration de boue donnée, l'ajout des collecteurs influe légèrement sur le rendement de la flottation (voir tableaux) A et B et cela peut être expliqué :

soit par le mauvais choix des collecteurs utilisés, soit en raison de leur grande surface, elles adsorbent des quantités très importantes de surfactants. (Tableau D) .

-boue textile(avec variation du pH + collecteur)

Selon l'expérience nous avons constatés que le pH est un paramètre très important dans la flottation.

Pour des valeurs de pH très élevées (11 et 12 ) le taux de récupération a été toujours faible, mais en faisant diminuer le pH (milieu acide), le taux de récupération est 22 fois plus grand que précédemment et plus le pH diminué plus la flottation est bonne (voir tableau C)

Les raisons de l'influence de pH en flottation sont très diverses :

- Une réaction entre réactifs et particules peut changer complètement
- L'action du réactif peut être modifiée
- La surface des particules peut être changée.

-boue textile (avec variation du pH)

*un rendement faible car on a*

Dans cette expérience on s'est attendu à avoir pas utilisés les collecteurs qui sont nécessaire dans la flottation, malgré cela nous avons été surpris par les résultats obtenus, pour une gamme de pH très élevée (11-12) le rendement a été très faible par contre en milieu acide le taux de récupération a été très élevé et cela explique bien que le pH influe sur la surface des particules et sur leur solubilité ce qui les rendent flottables malgré l'absence des collecteurs. ( voir tableau F ).

-boue de la papeterie :

En comparant les résultats obtenus

nous avons constatés que pour le tableau E', le rendement a été très élevé (pour t = 5mm) et il y'avait formation d'une couche à la surface libre de la cellule d'épaisseur environ 3 cm, par contre le rendement obtenu dans les autres essais a été très faible et cela peut se traduire comme suit :

Dans le premier essai la boue a été chargée par les fibres de papier difficiles à décanter, cette dernière favorise donc la flottation.

Mais la concentration en fibres de papier a été négligeable ce qui permet d'avoir un taux de récupération très faible.

On peut donc dire que si les boues de la papèterie sont très chargées par les fibres de papier, la flottation dans ce cas est nécessaire et elle est très efficace mais dans le cas contraire il faut éviter le procédé de traitement par flottation

En générale les résultats obtenus lors de notre étude coïncident avec la Theorie.

En conclusion on peut dire que :

la concentration, la nature et la composition des boues, la granulométrie des particules et le pH jouent un rôle très important dans la flottation.

En ce qui concerne les collecteurs ; une étude très poussée à l'échelle laboratoire devzait se faire pour déterminer le collecteur le plus convenable pour les différents types de boues.

# CONCLUSION



Conclusion :

Nos résultats expérimentaux ont mis en évidence :

-L'importance du comportement du pH et son influence sur le rendement de la flottation. un meilleur rendement a été obtenu pour des valeurs de pH variant de 2-6

-La concentration des boues flottées est fonction de différents facteurs :

-La concentration initiale en particules solides ( $C_0$ )

-le temps de flottation

pour le cas de la concentration, le taux de récupération croît avec l'augmentation de la concentration, mais cette dernière ne doit pas être très forte.

En ce qui concerne le temps de flottation :

une bonne flottation a été obtenue pour des concentrations pas trop élevées et pour un intervalle de temps varie entre (20-30 mn)

par contre pour des concentrations élevées un bon rendement a été observé pour un intervalle de temps compris entre (5-8 mn)

-L'influence de la granulométrie du solide et la nature des boues sur le le taux de récupération :

-Les particules très fines, flottent difficilement les huiles, les grosses, les fibres de papier sont apte à flotter.

-Le choix du collecteur doit se faire à partir d'une étude approfondie à l'échelle laboratoire.

Nous recommandons un suivi de ce travail car de nombreux paramètres n'ont pu être pris en compte lors de notre étude tel que :

la température, la variation du débit gazeux, le système de fonctionnement (continu ou semi continu)...etc...

Annexes

o

A N N E X E

Notre cellule est composée essentiellement par :

-un bac rectangulaire de volume 26 litres traversé par deux plaques inclinées (voir figure )

-Un système d'alimentation en air qui se pose carrément sur le bac et un système qui se trouve à l'intérieur de la cellule ( voir figure )  
plaqué contre les plaques inclinées citées précédemment qui permet la création et la distribution uniforme des bulles d'air.

-De plus, notre cellule est d'une manoeuvre aussi simple que possible, elle est insensible aux irrégularités de la pulpe, tous ses organes sont facilement accessibles, et de construction rapide et économique.

-En supprimant le système d'alimentation la cellule jouera le rôle d'un décanteur

-La matière utilisée pour la conception de la cellule est le plexiglas.

o

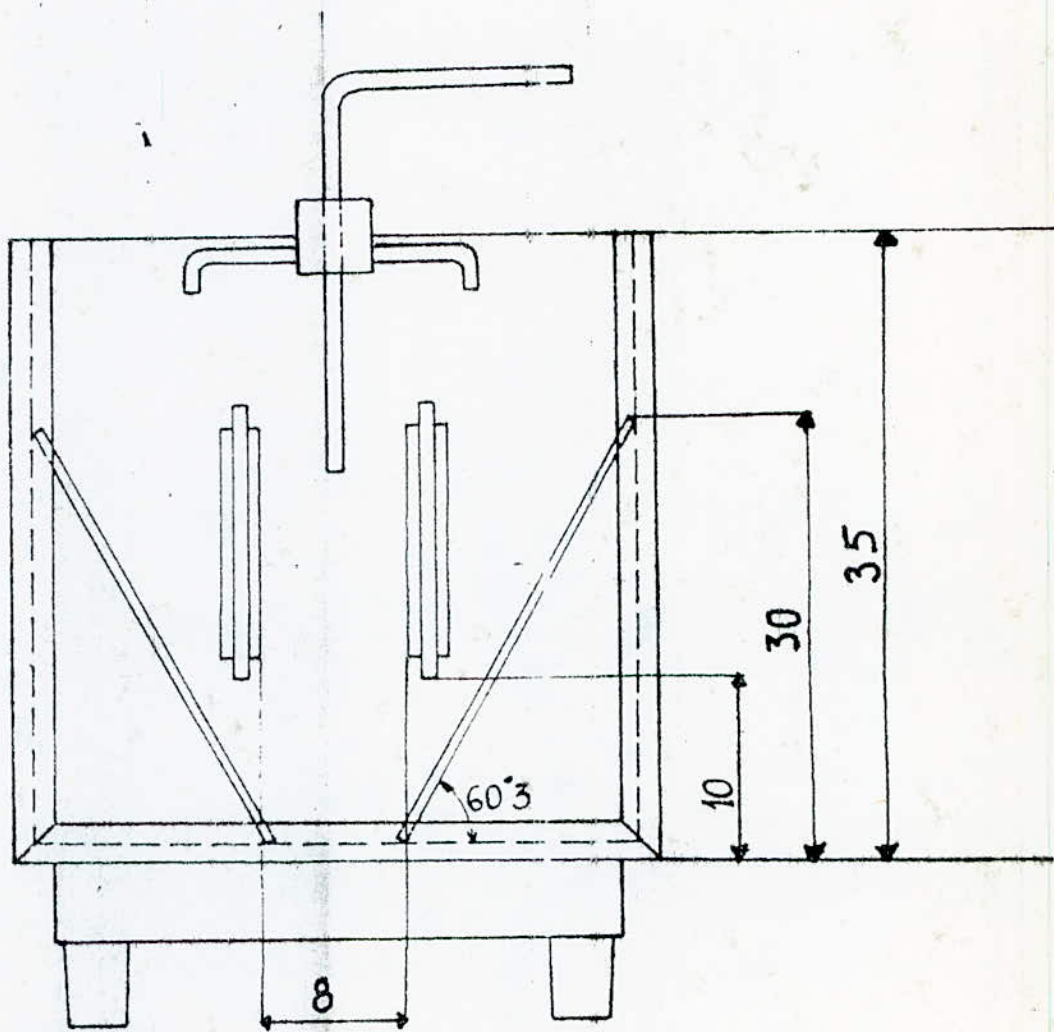


Fig 18 : **vue de face de la cellule**

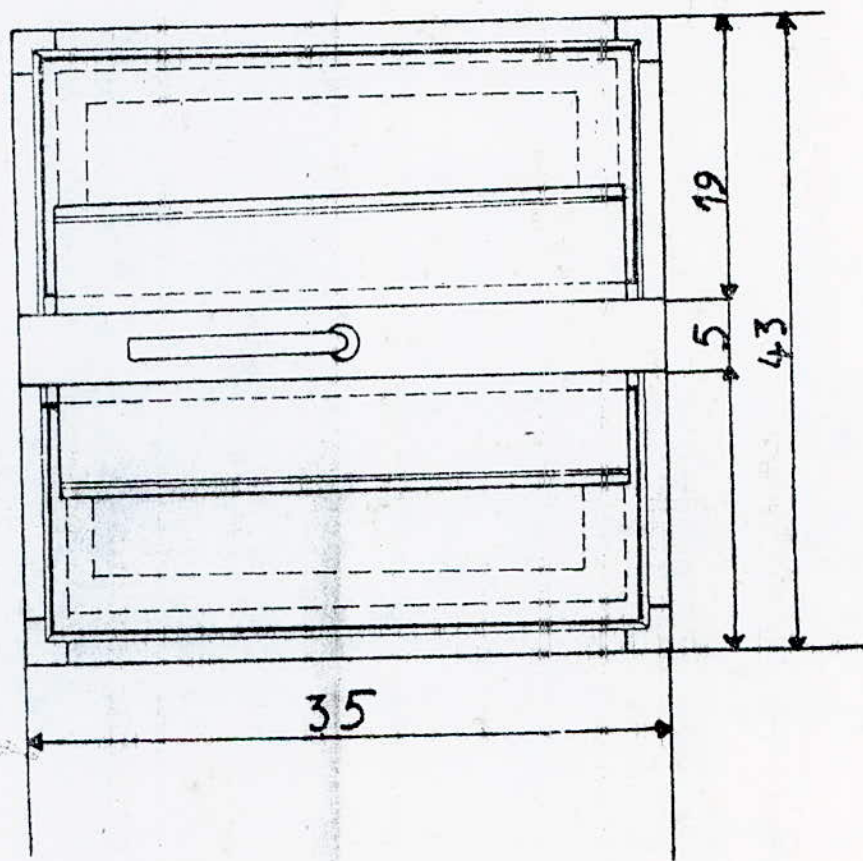


Fig: 19

**vue en plan**

La mouillabilité des particules et le moussage sont contrôlés à l'aide de trois agents chimiques :

- Les agents moussants qui stabilisent la mousse tels que l'huile de pin, l'acide cresylique .....

Les quantités utilisées sont de l'ordre de 5 à 100 ppm

- Les collecteurs sont des tensio actifs qui assurent la mouillabilité de la particule en modifiant les angles de contact et les propriétés d'adsorption.
- Les modifieurs sont des régulateurs de pH, lequel affecte l'action des additifs chimiques. Les activateurs favorisent la fixation des bulles sur les particules intéressantes, les dépresseurs évitent la fixation sur les particules non désirées.
- Le mouillage d'une surface propre n'est que le déplacement par le liquide de l'air déjà présent sur la surface.

Emploi des reactifs de flottation aux Etats-Unis en 1928-1931

| REACTIFS<br>DE<br>FLOTTATION |                           | EMPLOI DES REACTIFS |          |                   |        |        |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|----------|-------------------|--------|--------|
|                              |                           | nombre de tonnes    |          | grammes par tonne |        |        |
|                              |                           | 1928                | 1931     | 1928              | 1931   |        |
| o                            |                           |                     |          |                   |        |        |
| <u>Reactifs regulateurs</u>  |                           |                     |          |                   |        |        |
| 1.                           | Acide .....               | 5                   | 5.640,2  | 5.062             | 13.858 | 10.671 |
|                              | Acide sulfurique ...      | 4                   | 5.640    | 5.062             | 14.755 | 10.671 |
|                              | Acide chlorhydrique       | 1                   | 0,2      | -                 | 1      | -      |
| 2                            | <u>Alcalis</u> .....      | 105                 | 97.959,7 | 52.644,4          | 1.936  | 1.926  |
|                              | Carbonate de Na .....     | 47                  | 2.589    | 3.999             | 275,5  | 293    |
|                              | Bicarbonate de Na.....    | <del>8</del>        | —        | 6,8               | —      | 125    |
|                              | Soude caustique .....     | 4                   | 1,1      | 3,6               | 12,0   | 28,5   |
|                              | Chaux .....               | 81                  | 94.510   | 51.350            | 1.955  | 1.930  |
|                              | Carbonate de Ba .....     | 1                   | 0.6      | —                 | 48,0   | —      |
|                              | Ciment .....              | 2                   | 859      | 885               | 2.213  | 3.653  |
| 3.                           | <u>Depresseurs</u> .....  | 70                  | 4.256,7  | 1.095,2           | 143,5  | 90,0   |
|                              | Cyanures .....            | 44                  | 948      | 268               | 38,5   | 25,0   |
|                              | Sulfate de Na .....       | 6                   | 183      | 167               | 318    | 579    |
| 4.                           | <u>Reactif activateur</u> |                     |          |                   |        |        |
|                              | Sulfate de cuivre ...     | 139                 | 3.122    | 1.512             | 360,5  | 296,5  |
| 5.                           | <u>Renforceurs</u>        |                     |          |                   |        |        |
|                              | Sulfate de sodum ...      | 9                   | 1.087    | 292               | 164,5  | 361,5  |
| TOTAUX .....                 |                           | 208                 | 119.708  | 60.510            | 2.235  | 1.990  |

## Caractérisation des boues

| Unité           | Type de boues | origine de la boue | couleur  | Caractéristiques  |
|-----------------|---------------|--------------------|----------|---|
| S.N.V.I         | primaires     | décanteur          | noire    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- aspect granuleux</li> <li>- odeur d'hydrocarbure (goudronnage)</li> <li>- Métaux lourds</li> </ul> |
| COTITEX         | primaire      | décanteur          | grise    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- colorants</li> <li>- acides</li> </ul>   |
| SONI<br>Bab-Ali |               | collecteur         | brunâtre | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El Hefja</li> <li>- cellulose</li> <li>- débris de papier</li> </ul>                               |



Résultats obtenus sur des boues  
 activées dans des installations  
 de flottation à l'air dissous

| Localité                        | Emploi<br>des<br>polymères | concentrati-<br>on des<br>boues à<br>traiter % | concentra-<br>tion des<br>boues ép-<br>aissées % | charge<br>en matières<br>solides<br>kg/m <sup>2</sup> .h | Vitesse<br>de<br>passage<br>m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h |
|---------------------------------|----------------------------|--|--|--|---|
| Nassau Country<br>N.Y.          | Non                        | 0,81   | 4,9  | -  | -   |
| Wayne Co.,<br>Mich.             | "                          | 0,45   | 4,6  | -  | -   |
| Goors Brewery,<br>Golden, Colo. | "                          | 0,77   | 4,1  | -  | -   |
| Bernardsville,<br>N.J.          | Oui                        | 1,7  | 4,3  | 21   | 1,20  |
| Hatboro, Pa.                    | "                          | 0,7  | 4,0  | 14   | 1,95  |
| Belleville,<br>Ill.             | "                          | 1,8  | 5,7  | 19   | 0,98  |
| Columbus,<br>Ohio               | "                          | 0,7  | 5,0  | 16   | 2,45  |
| Fort Worth,<br>Texas            | "                          | 0,9  | 4,5  | 22   | 2,45  |

# Bibliographie

1) BARBERY (G).

Flottation, Mecanismes et réactifs

in : techniques de l'ingenieur (A 5350)

date de Mai 1982.

2) BLAZY (P.)

La Valorisations des Mineraiis

P.U.F, France, Paris, 1970.

3) BOUTIN (P.)

Traitement des Eaux usées

EYROLLES, PARIS 1984.

4) CAILLOSE (A.)

Etude de la cinétique de flottation ;  
influence de la Mousse en surface

These de docteur, ingenieur soutenues à la faculté de  
science de L'Université de Nancy, Octobre 1975.

5) DEGREMONT

Menento Technique de l'eau

8 eme Eddition, 1978, PARIS, 1978.

6) RIVET (P.)

Guide de séparation liquide solide

PARIS, IDEXPO, 1984.



# ibliographie

7) ECKENFE LDEIR (W.)

Gestion des Eaux usées urbaine

Technique et documentation, Lavoisier, Paris 1982.

8) GAID (A.)

Epuración biológica des eaux usées

Tome I OPU ALGER 1984.

) GAUDIN (A.N.)

Flottation 2eme Eddition

Mc Graw, Hill, Book, C, NEW- YORC 1957.

) MAËS (M.)

Les residues industriale ( Tome 2).

Technique et documentation et entreprise  
moderne et d'editions, 1977 .

) MAYER (F.)

Opération Unitaire

Ecole Supérieur des industrie Chimiques  
Nancy 1986.

) PETERSUN (W.)

La flottation

Traduit de l'allemand et mis à jours par

Annie- Marie PORCHEROT Docteur Ingénieur 1938.

