



Projet de fin d'étude
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Etude de Dimensionnement d'un épaisseur pour
différentes qualités de phosphate**

Présenté par :

◆ **BAOUDDI Yassir**

Encadré par :

◆ **Mr. HAFID Zouhair (OCP)**

◆ **Pr. IDRISSI KANDRI Noureddine (FST)**

Soutenu Le 15 Juin 2015 devant le jury composé de:

- **Pr. A. ZEROUALE**
- **Pr. E.H. EL GHADRAOUI**
- **Pr. N. IDRISSI KANDRI**

Stage effectué à OCP Khouribga

Année Universitaire 2014 / 2015

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>



Introduction

Le Maroc dispose d'importantes ressources en phosphate, estimées à plus de 85 milliards de m³. La zone de Khouribga constitue la réserve la plus importante de l'OCP. Le phosphate extrait et traité dans cette zone est destiné soit à la valorisation à Jorf Lasfar en acide et engrais, soit à l'export via le port CASABLANCA. Signalons que la Direction des Exploitations Minières de Khouribga a réalisé en 2007 un record absolu des ventes de phosphate avec près de 18,063 millions de tonnes. Les phosphates de la zone de KHOURIBGA sont de nature sédimentaire et sont caractérisés par la présence d'une gangue carbonatée plus ou moins dolomitique et siliceuse avec présence d'argiles dans les fractions fines. La phase phosphatée est concentrée dans les oolithes, coprolithes et débris osseux dont la taille est comprise entre 80 et 800 microns. Dans la zone de Khouribga, il y a actuellement trois mines en exploitation à ciel ouvert : Sidi Daoui , Merah Lahrach, Sidi Chennane.

Les qualités de phosphate sont classées en fonction de leurs teneurs en Tricalcium Phosphate, plus connu sous le nom de Bone Phosphate of Lime (BPL). Ainsi, un phosphate à haute teneur doit contenir 70 % ou plus de BPL. La moyenne teneur se situe entre 68 % et 70 %, la basse teneur est comprise entre 61% et 68%. Enfin, en dessous de 61%, le phosphate est considéré comme étant à très basse teneur de BPL.

Nous avons organisé ce travail en quatre chapitres :

- Le premier comporte une présentation de l'OCP-SA et un aperçu sur les différents processus de lavage
- Le deuxième chapitre est un rappel théorique sur le procédé de la décantation.
- Le troisième chapitre, concerne quelques procédures de dimensionnement d'un décanteur
- Le quatrième chapitre, une étude expérimentale pour deux qualités de boue une boue fraîche et une boue de la phase argileuse.



Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et description de processus de la laverie

I. Présentation de l'organisme d'accueil

1. Le groupe OCP-SA

Un des leaders mondiaux sur le marché du phosphate et ses dérivés crée le 17 août 1920, OCP-SA opère sur les cinq continents et dispose des plus importantes réserves de phosphate au monde. Avec plus de 90 ans d'expérience dans la mine et 45 ans en chimie, OCP-SA offre l'une des plus larges gammes de roche pour divers usages. Premier exportateur de phosphate brut et d'acide phosphorique dans le monde et l'un des principaux exportateurs d'engrais phosphatés, OCP-SA joue un rôle central dans ses régions d'implantation et emploie directement près de 20 000 personnes ce qui le place dans le peloton de tête des plus grands employeurs du Royaume.

Première entreprise industrielle du Maroc, OCP-SA contribue substantiellement au développement de l'économie nationale par le biais de ses exportations (24 % des exportations nationales). En outre, OCP-SA apporte un soutien indéfectible à l'agriculture marocaine en général et aux PME en particulier, dont le développement impacte significativement la richesse nationale.

2. Situation géographique

- Le siège social de l'office est situé à Casablanca.
- Les directions d'exploitation et de traitement sont les suivants :
 - **OULED ABDOUN**: c'est la plus importante mine de production du groupe OCP-SA. Elle est située dans la zone de Khouribga et ses réserves en

phosphates sont estimées à plus de 35 milliards de mètre cubes. Sa capacité de production est de 19 milliards de tonnes par an.

- **GONTOUR**: La direction des exploitations minières de GONTOUR a pour mission l'extraction, le traitement et la livraison du phosphate à partir du gisement de GONTOUR. Ce gisement s'étend sur 125Km d'est à l'ouest et sur 20Km du Nord au sud. Il couvre une superficie de 2500Km. Il existe deux centres qui sont en exploitation : le centre de YOUSOUFIA (depuis 1939) et le centre de BENGRERIR depuis (1980).
- **OUED EDDAHAB (BOUCRAA-LAAYOUNE)**: Situé à 50Km au sud-est de la ville de LAAYOUNE. Les réserves des gisements des phosphates d'OUED EDDA- HAB sont estimés à 1,13 milliard de m. Seul gisement de BOUCRAA est en exploitation compte tenu de ses réserves et de sa teneur.

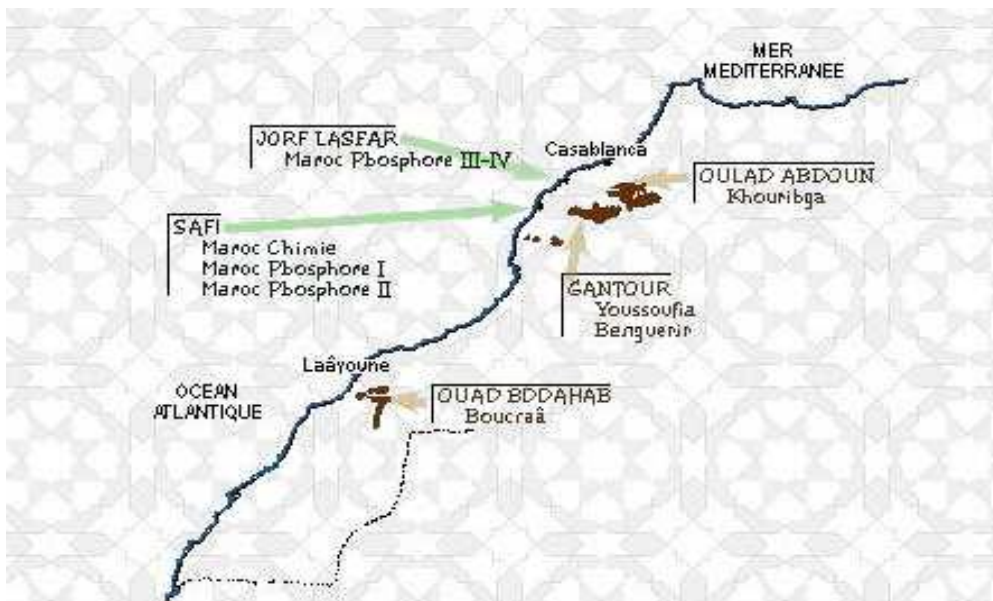


Figure 1 : Carte des principaux sites d'implantation d'OCP-SA au Maroc.

3. Organigramme

- Organigramme de direction de l'OCP-SA

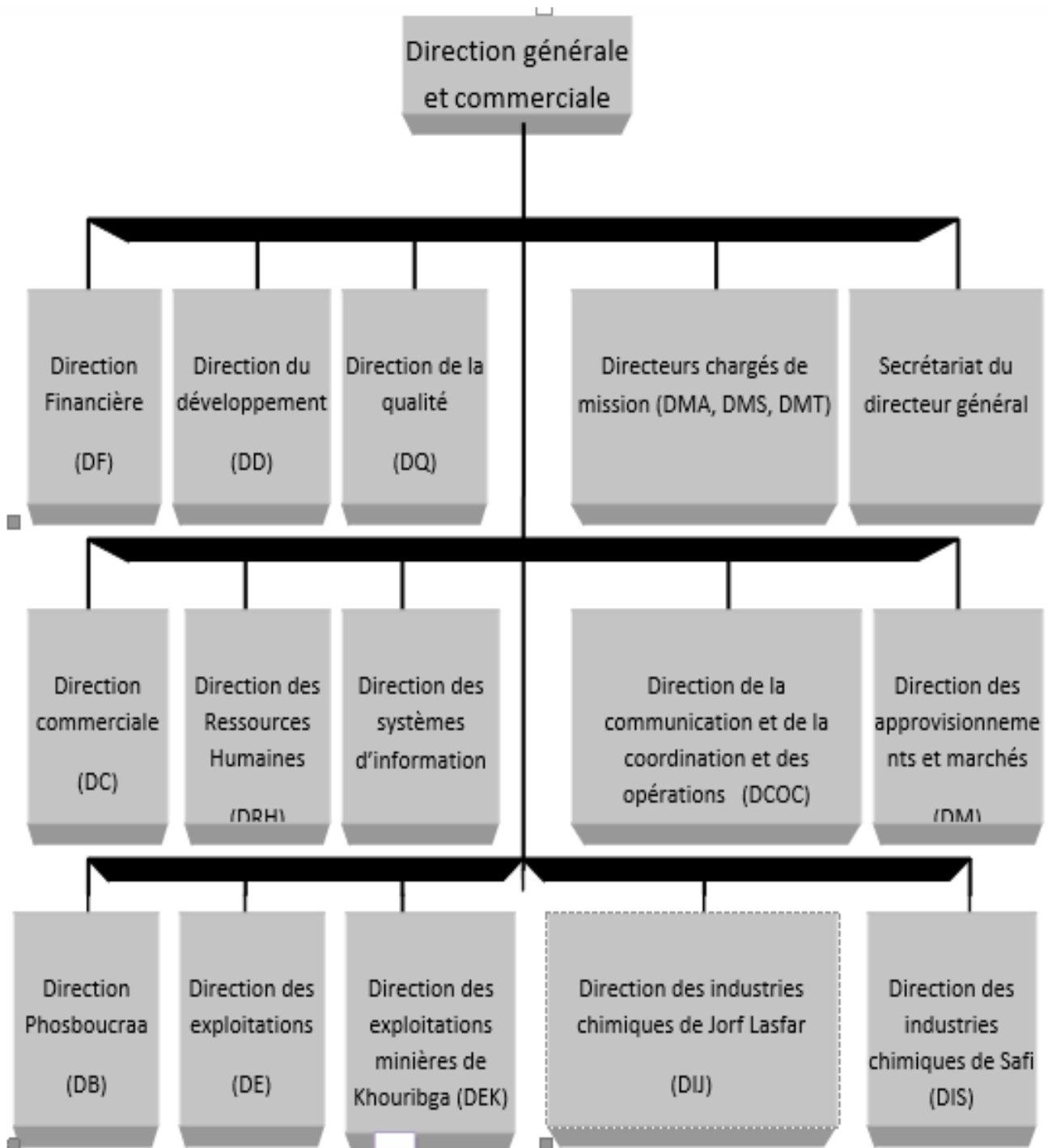


Figure2 : Organigramme de l'OCP-SA



4. Activités

L'extraction et le traitement de phosphate brut, sont effectués au sein du Pôle Mines. Le Groupe OCP extrait le phosphate brut du sous-sol marocain grâce à des chantiers à ciel ouvert ou des mines souterraines.

Le minerai est ensuite épierré et criblé, puis séché ou calciné. Parfois, il subit une, opération de lavage ou de flottation pour une concentration de sa teneur en phosphore.

Le minerai traité est soit exporté tel quel, ou bien livré aux industries chimiques du Groupe pour être transformé en produits dérivés commercialisables.

II. Description de processus de la laverie

1. Définition et but du lavage

C'est une opération qui consiste à traiter par voie humide du phosphate brut déjà criblé jusqu'à l'obtention d'un produit enrichi dont la teneur en BPL est élevée.

Le but du lavage est d'enrichir le minerai en éliminant les tranches pauvres par simples coupures granulométrique, Ces opérations peuvent être réalisées par criblage à 2.5 mm pour éliminer la tranche grossière et par cyclonage pour éliminer les particules fines (<40 μ m).

5. Principale phase de lavage

a. Débourage

C'est une opération qui consiste à malaxer le minerai de phosphate mis en pulpe dans un débourbeur tournant, afin de libérer par attrition les grains phosphatés de leurs gangues argilo-calcaire.



Figure 3 : photo d'un débourbeur.

b. Criblage

La pulpe ainsi formée au niveau du débourbeur, passe au crible par débordement pour subir un traitement physique ; il s'agit de la première coupure qui consiste à éliminer les particules de dimensions supérieures à 3,15mm. L'opération est réalisée au moyen d'un crible vibrant, constitué d'une surface comportant des ouvertures de dimensions bien calibrées.

L'opération du criblage est facilitée à l'aide d'un système d'arrosage par l'eau sous pression, pulvérisée par les buses, afin de libérer les grains phosphatés adhérents à la surface du crible.

c. Hydro-classification

Consiste à éliminer la tranche inférieure à 40 μm et l'évacuer vers les décanteurs. Ce système d'hydro-classification est constitué d'un hydro-cyclone et d'un hydro-classificateur (HD) montés en série.

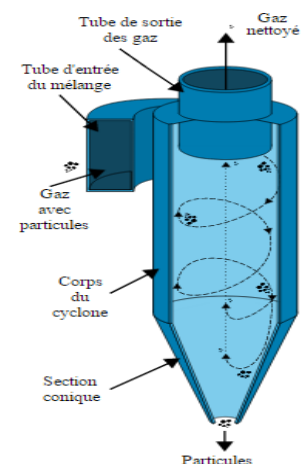


Figure4 : schéma de cyclone

d. Flottation

Le principe de la flottation est basé sur les propriétés hydrophobe et hydrophile des surfaces des solides. Ces propriétés sont généralement stimulées par des réactifs. En effet, à la fin de la phase conditionnement, la surface des particules solides que l'on désire séparer est seule devenue hydrophobe à l'aide des réactifs appropriés (Ester, Amine et acide phosphorique) ajoutés à la pulpe.

e. Décantation

Les grains inférieurs à $40\mu\text{m}$ et les rejets de la flottation sont envoyés vers les décanteurs qui servent à épaissir les boues et récupérer une eau clarifiée. Cette récupération se base sur le phénomène de la sédimentation des particules dans un milieu aqueux, avec une vitesse de chute qui varie suivant leurs densités. Il y a donc un mouvement des particules vers le fond du décanteur et une remontée du liquide clair vers la surface.

Cependant, la séparation solide-liquide dans le décanteur recevant les rejets fins provenant du lavage et de la flottation ne peut en aucun cas être totalement assurée par la seule opération de décantation. Elle est améliorée par l'ajout de flocculant à l'alimentation car le décanteur a pour rôle de fournir à la fois des sur-verses claires et des boues riches en solides.



Figure 5 : Schéma d'un décanteur



Chapitre II : Rappels théoriques sur la décantation

La décantation est une opération unitaire, parmi les techniques de séparation liquide-solide basées sur le phénomène de sédimentation, qui consiste à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires. Les procédés mis en œuvre diffèrent selon que l'on recherche seulement à augmenter la concentration des solides (épaississement) ou que l'on vise à obtenir un liquide clair à partir d'une suspension diluée (clarification).

La sédimentation est réalisée sur différents types de matières solides en suspension, parmi lesquelles on peut distinguer deux comportements opposés : celui des particules grenues, qui décantent indépendamment les unes des autres, et celui des particules plus ou moins floculées, qui ont des vitesses de chute variables, fonction de la taille des floes et de leur abondance.

La théorie de la décantation et la procédure de dimensionnement des appareils tiennent compte de ces considérations.

I. Généralités

1. Principe de la décantation statique

La décantation statique fait appel à la sédimentation de particules solides dans un liquide, qui est habituellement de l'eau ou une solution aqueuse, sous l'action de la pesanteur. Elle est continue quand on extrait en permanence les matières qui se sont déposées (sousverse ou boues) et que l'on recueille simultanément et séparément le liquide clarifié (surverse ou surnageant ou liquide clair). De nombreux facteurs régissent la séparation solide-liquide, dont les principaux sont :

- la taille des particules solides et leur distribution granulométrique : les particules les plus fines ont la vitesse de sédimentation la plus lente et les boues en résultant sont moins chargées en solides que lorsqu'il s'agit de particules grossières ;



Projet de fin d'étude



- la concentration en solides, qui conditionne la surface unitaire des appareils
- la différence entre les masses volumiques du solide et du liquide, la forme et les caractéristiques superficielles des solides et la viscosité du liquide, qui influent sur la vitesse de sédimentation.

2. Caractéristiques des suspensions

Les particules peuvent sédimenter selon des régimes différents du fait que le comportement de chaque particule est influencé à la fois par la dilution de la suspension et par les interactions entre les particules. On distingue les cas suivants :

- La **sédimentation individuelle** est réalisée pour des dilutions importantes. Dans ce cas, chaque particule est suffisamment éloignée de sa voisine, et la vitesse individuelle de sédimentation décroît à mesure que la dilution de la suspension augmente.
- La **sédimentation des floccs** résultant de la collision des particules, est réalisée avec ou sans addition d'un agent flocculant à la suspension diluée. On assiste alors à une clarification progressive et il n'y a pas d'interface nette entre le liquide surnageant et les particules en cours de sédimentation. La vitesse du courant ascendant est alors le facteur principal régissant la clarification.
- La **sédimentation globale** résulte de la sédimentation d'une suspension concentrée au point que chaque particule ou flocc soit en contact avec des entités adjacentes. On obtient alors une structure plastique et il se produit une sédimentation d'ensemble présentant une interface nette entre le liquide surnageant et la masse boueuse qui décante en piston. La vitesse de déplacement de cette interface est constante pendant un certain temps. Les particules gardent les mêmes positions relatives, cependant, en se rapprochant du fond du décanteur elles sont gênées dans leur mouvement et leur vitesse de chute diminue. Il se forme alors dans le fond du décanteur une zone de concentration supérieure à celle voisine de l'interface et dont la hauteur va en augmentant. Cette zone correspond à l'épaississement des boues.
- La **sédimentation en compression** prend le relais du régime précédent quand la structure de la pulpe devient suffisamment compacte pour développer une force de compression. La subsidence de chaque couche est ralentie par le comportement mécanique des couches sous-jacentes, chaque couche étant soumise à une compression

qui entraîne l'expulsion du liquide et favorise ainsi l'augmentation de la concentration en solide.

- La **sédimentation hétérogène** correspond à un régime particulier où des perturbations interviennent dans la séparation des phases lors de la sédimentation en compression. Certaines pulpes présentent des mouvements locaux intermittents de liquide, ou de suspension diluée, de bas en haut. Ce phénomène peut se traduire à l'interface « liquide clair - pulpe » par le dégagement de bulles.

3. Types des décanteurs

Les différents types de décanteurs se distinguent selon les domaines d'application et selon les dimensions minimales et maximales des appareils.

— type CPM (figure 6), pour la clarification, l'épaississage et le stockage de faibles débits de boues ;

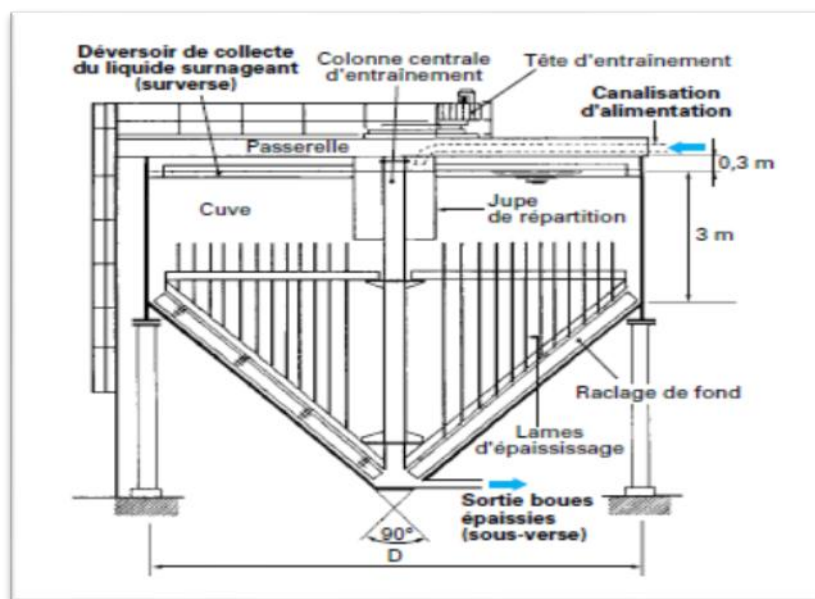


Figure 6 : coupe verticale de clarificateur-épaississeur CPM

— type CPB (figure 7), pour la clarification de liquides très chargés en matières en suspension (MES) et l'épaississage de boues ;

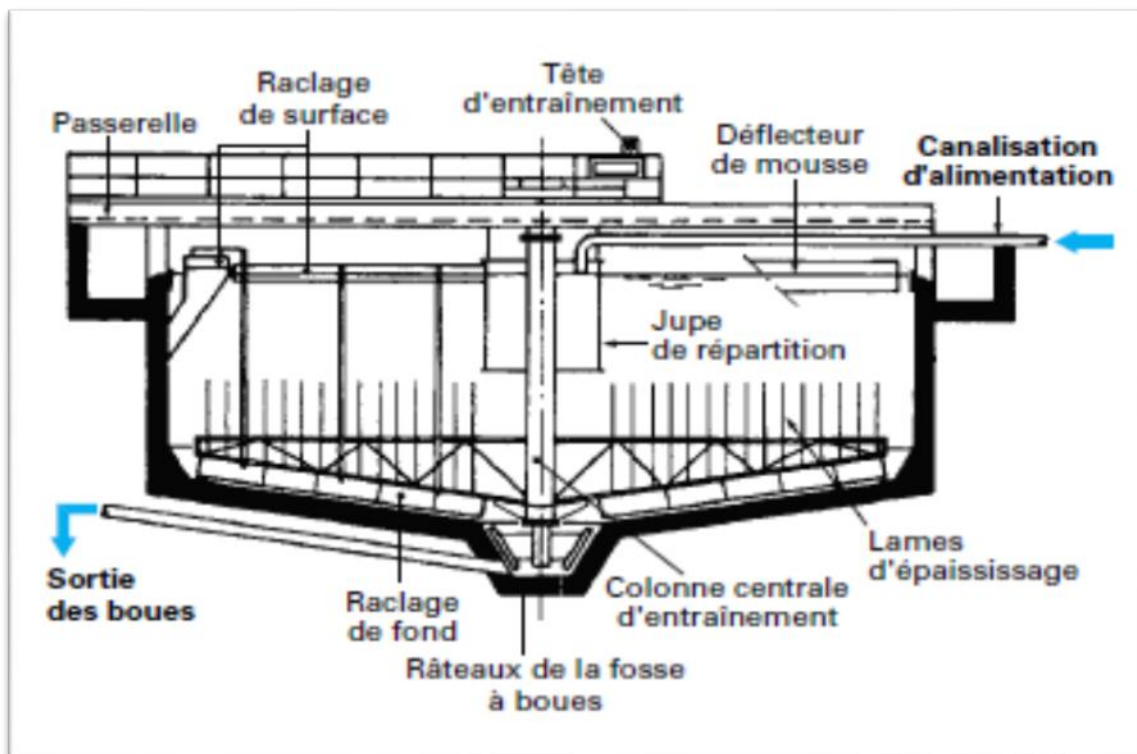


Figure 7 : coupe verticale du clarificateur-épaisseur CPB

C'est le type de décanteur utilisé pour les laveries de l'OCP

II. Vitesse de sédimentation des particules dans un liquide

La théorie de la sédimentation de solides fins dans un liquide, qui obéit à la loi de Stokes, montre que la vitesse de chute d'une particule est proportionnelle à la différence des masses volumiques entre la particule et le liquide et au carré de la dimension de la particule.

1. Suspensions diluées

a. Particules isolées

Lorsque la concentration en masse des solides en suspension est inférieure à 0,5 %, on considère que les particules sont suffisamment éloignées les unes des autres et que, de ce fait, chacune d'entre elles sédimente comme si elle était isolée dans le liquide. En fonction du nombre de Reynolds de la particule, il existe trois régimes de sédimentation : un régime laminaire ou régime de Stokes, un régime de transition et un régime turbulent ou régime de Newton.



Projet de fin d'étude



Après un certain temps de chute accélérée, une particule atteint une vitesse limite de chute (U_{lim}). donnée par la relation suivante :

$$U_{lim} = \sqrt{\frac{4 d}{3 C_x} \left(\frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right) g}$$

Avec d : diamètre de la particule ρ_f : masse volumique du fluide
 C_x : coefficient de traînée g : l'accélération gravitaire
 ρ_s : masse volumique du solide

Et le nombre de Reynolds de la particule s'exprime par la relation :

$$Re = \frac{U_l \rho_f d}{\eta_f}$$

Avec U_l : vitesse limite de chute η_f : viscosité dynamique
 d : diamètre de la particule ρ_f : la masse volumique du fluide

Les résultats de nombreux travaux expérimentaux ont conduit à délimiter plusieurs domaines en fonction de la valeur de Re , comme le montre le tableau

Tableau 1 : Vitesse limite de chute des particules sphériques en fonction du nombre de Reynolds.

Re	C_x	U_{lim}	Domaine
$<10^{-4}$	La loi de stokes ne s'applique pas, car le mouvement des particules est influencé par le mouvement brownien		
10^{-4} à 1	$24/Re$	$0,545(\rho_s-\rho_f) \eta_f^{-1} d^2$	Régime laminaire
1 à 10	$26/Re^{0,77}$	$0,57(\rho_s-\rho_f)^{0,814} \eta_f^{-0,625} d^{1,439}$	Régime De transition
10 à 10^2	$20/Re^{0,65}$	$0,73(\rho_s-\rho_f)^{0,741} \eta_f^{-0,481} d^{1,222}$	
10^2 à 10^3	$4,92/Re^{0,346}$	$1,81(\rho_s-\rho_f)^{0,604} \eta_f^{-0,209} d^{0,813}$	
10^3 à $2 \cdot 10^5$	0,44	$5,40(\rho_s-\rho_f)^{0,5} d^{0,5}$	Régime turbulent

b. Particules floculées



L'interaction entre les particules induit leur agrégation, lorsque les forces répulsives, dues à des charges électriques superficielles, sont contrebalancées par des forces attractives de type Van der Waals.

On constate que pour une suspension floculée, la décantation se déroule suivant plusieurs phases, comme d'ailleurs dans le cas des suspensions concentrées :

- la formation d'une interface plus ou moins bien marquée ;
- une décantation « en piston » de cette interface, à une vitesse régulière;
- un tassement à vitesse décroissante, appelée par convention phase de compression des boues.

2. Suspensions concentrées

a. Vitesse limite de chute

Dès que la concentration massique en solides devient élevée, les interactions entre particules ne sont plus négligeables. Les particules adhèrent entre elles et la masse décante en piston avec une interface nette entre les boues et le liquide surnageant.

En régime laminaire ($Re < 1$) et en milieu newtonien, on peut admettre que la viscosité cinématique équivalente d'une suspension (ν_m) et sa masse volumique (ρ_m) s'expriment approximativement à partir de celles du liquide (ν_f et ρ_f) suivant les relations :

$$\nu_m = \nu_f \frac{D + \frac{1}{\rho_s}}{D - D_l}$$

$$\rho_m = \frac{D \rho_f + 1}{D + \frac{1}{\rho_s}}$$

Avec D et D_{lim} , dilutions (volume du liquide par unité de masse de solides) de la suspension et de la boue en fin de sédimentation, respectivement.

En remplaçant ν_f par ν_m et ρ_f par ρ_m dans l'équation de la loi de Stokes en régime laminaire (tableau 1), on obtient la valeur approximative de la vitesse limite de chute des particules en suspension concentrée, soit :

$$b. \text{ Te} \quad U_{lim} = 0,545 \frac{(\rho_s - \rho_f) (D - D_l) d^2}{\left(\frac{1}{D} + \rho_f\right) \left(D + \frac{1}{\rho_s}\right) \nu_f} \quad - \frac{dC}{dt} = kC^2$$

Le temps de séjour est donné par la relation :

k : constante de floculation

III. Détermination expérimentale des vitesses de sédimentation

1. Comportement d'une suspension en éprouvette

Si l'on verse dans une éprouvette une suspension de concentration suffisante ($> 0,5\%$ en volume), on observe les phénomènes suivants (figure 8) :

— au départ les gros grains sédimentent rapidement et se déposent sur le fond de l'éprouvette (zone a). La hauteur de cette zone augmente rapidement et se stabilise après la décantation des sables de dimension supérieure à $0,1\text{ mm}$;

Ensuite, il apparaît rapidement, et parfois immédiatement, une interface entre un liquide clair (zone b) et une phase boueuse. La phase boueuse peut être elle-même divisée en deux parties : une partie supérieure conservant l'aspect de la suspension de départ (zone c) et une zone inférieure d'aspect intermédiaire (zone d).

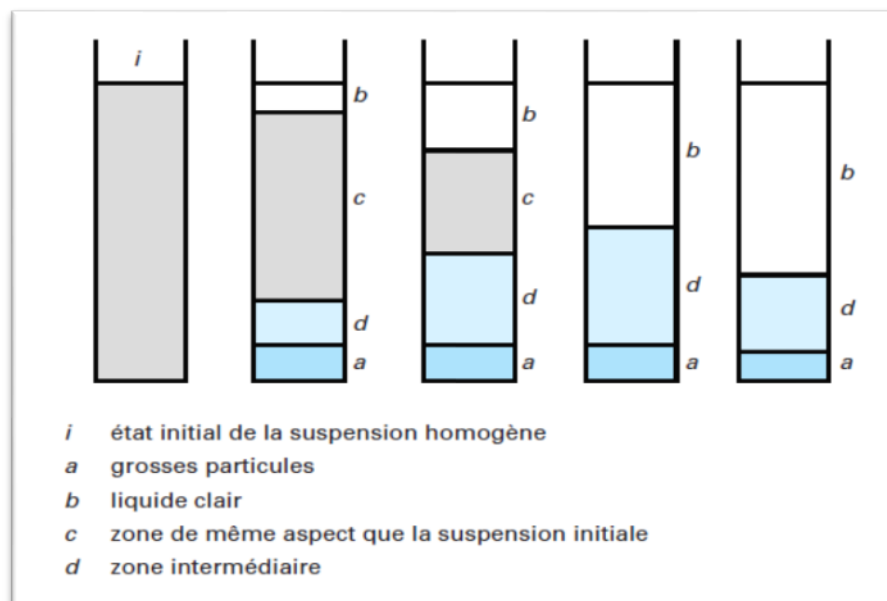


Figure 8 : Évolution de l'aspect d'une suspension en sédimentation dans une éprouvette.

2. Courbe de sédimentation

Après avoir versé la pulpe à décanter dans une éprouvette cylindrique de section S , on étudie le comportement de la suspension en sédimentation, en traçant la variation de la

hauteur h de l'interface séparant le liquide clair de la suspension, ou la variation du volume V , en fonction du temps écoulé depuis le début de la décantation.

La vitesse de sédimentation est représentée à tout moment par la tangente à la courbe au point d'abscisse t , et l'on a :

$$U = - \frac{dh}{dt}$$

Ou

$$U = - \frac{dV}{s dt}$$

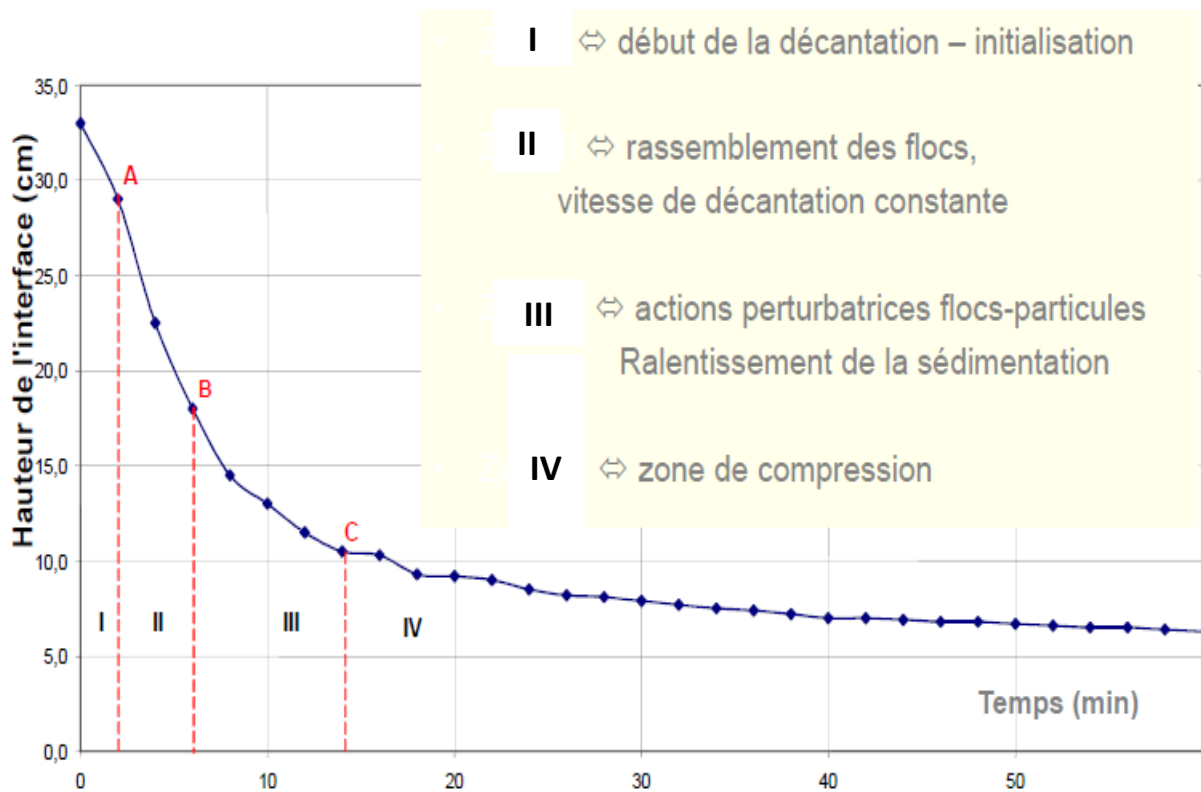


Figure 9 : Allure générale d'une courbe de sédimentation.

La courbe présente quatre domaines :

- **domaine I** : il correspond à la durée initiale de floculation et est souvent inexistant si la floculation est rapide ;
- **domaine II** : c'est le domaine où les floccs commencent à se rassembler en flocons et la vitesse de décantation est constante ;
- **domaine III** : à partir du point b, interviennent les actions perturbatrices entre les flocons et les particules. Ce point est souvent mal défini sur la courbe ;
- **domaine IV** : à partir du point c, les éléments solides isolés et les flocons sont en contact et forment des pseudoréseaux semi-rigides. Le liquide contenu est évacué à travers la masse des sédiments suivant les vides créés par ces pseudoréseaux et à la

suite de glissements des couches de boues. Le domaine IV est appelée **zone de compression** et le point c est le **point de début de compression**.

IV. Théorie de la sédimentation

La modélisation de la sédimentation est due à Kynch (1952), qui propose la théorie suivante : la vitesse de chute de particules rigides en sédimentation libre ne dépend que de la concentration locale en solide de la suspension.

Ainsi, à partir d'essais en éprouvette, Kynch trace dans le diagramme (h, t) les droites d'isoconcentration (figure 10).

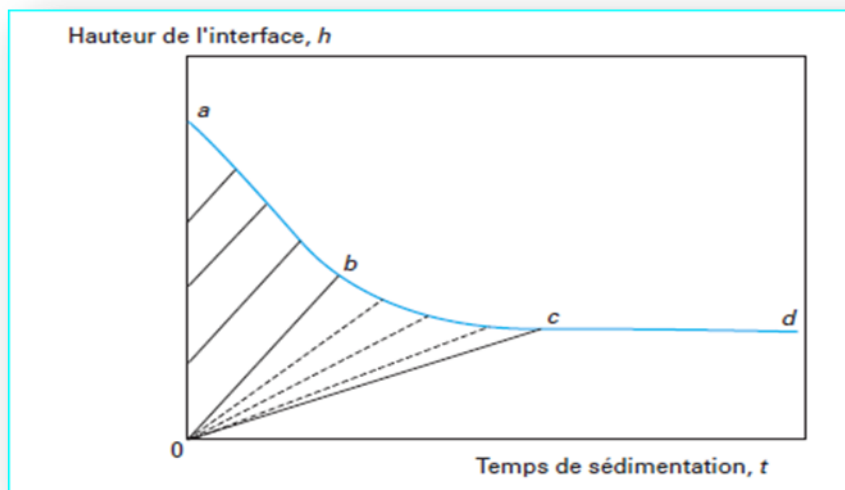


Figure 10 : Courbe de sédimentation et droites d'isoconcentration (Kynch, 1952)

Les vitesses de chute sont constantes. Leur équation s'écrit :

- Pour $C_a < C < C_b \Rightarrow \boxed{h = h_0 + V(c)t}$

- Pour $C_b < C < C_u \Rightarrow \boxed{h = V(c)t}$

Kynch postule qu'il n'existe qu'une seule vitesse de sédimentation (U) pour chaque concentration en solide (C). La suspension est de ce fait caractérisée, dans tout le domaine de concentration, par la simple relation entre U et C , ce qui implique l'existence d'une courbe de flux pour chaque suspension, dont la relation s'exprime par :

$$\boxed{G = UC}$$

Il devient donc possible de comparer les modes de sédimentation pour des suspensions diluées et concentrées, en traçant les courbes de flux $G = f(C)$.

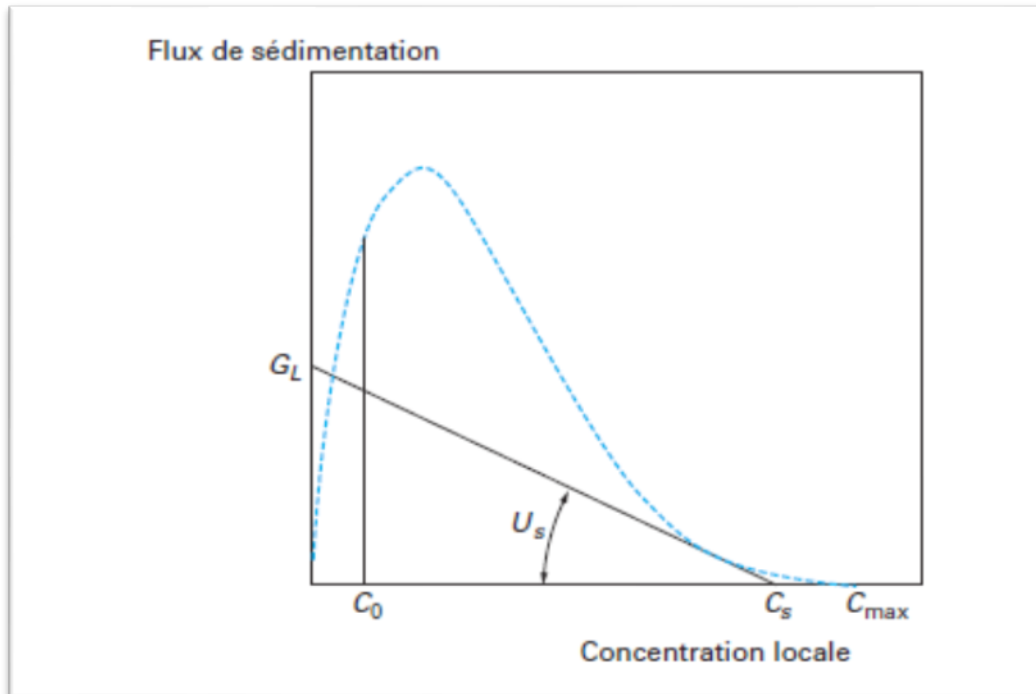


Figure 11 : courbe de flux de sédimentation.



Chapitre III : Procédure de dimensionnement d'un décanteur

I. Généralités

Pour le dimensionnement des décanteurs, les données de base s'expriment :

- en terme de volume de suspension à traiter par unité de surface et de temps, caractérisé par la charge hydraulique superficielle à laquelle on doit lier le temps de séjour ; c'est le cas des suspensions diluées ;
- en terme de flux massique des particules à décanter par unité de surface et de temps caractérisant la quantité de matière en suspension à décanter ; c'est le cas des suspensions concentrées.

II. Suspensions diluées

En clarification, un décanteur est un appareil permettant de satisfaire deux conditions :

- la séparation proprement dite, qui requiert de fournir une région dans laquelle le régime hydrodynamique est propice à la séparation solide-fluide ;
- la gestion des flux de sous-verse et surverse après séparation, qui impose des contraintes géométriques à la conception du décanteur.

La combinaison de ces deux conditions fait que le décanteur le plus simple est constitué d'une cuve parallélépipédique munie d'une zone d'entrée et de deux zones de sortie (une pour la surverse et l'autre pour les boues), comme l'illustre la figure 12.

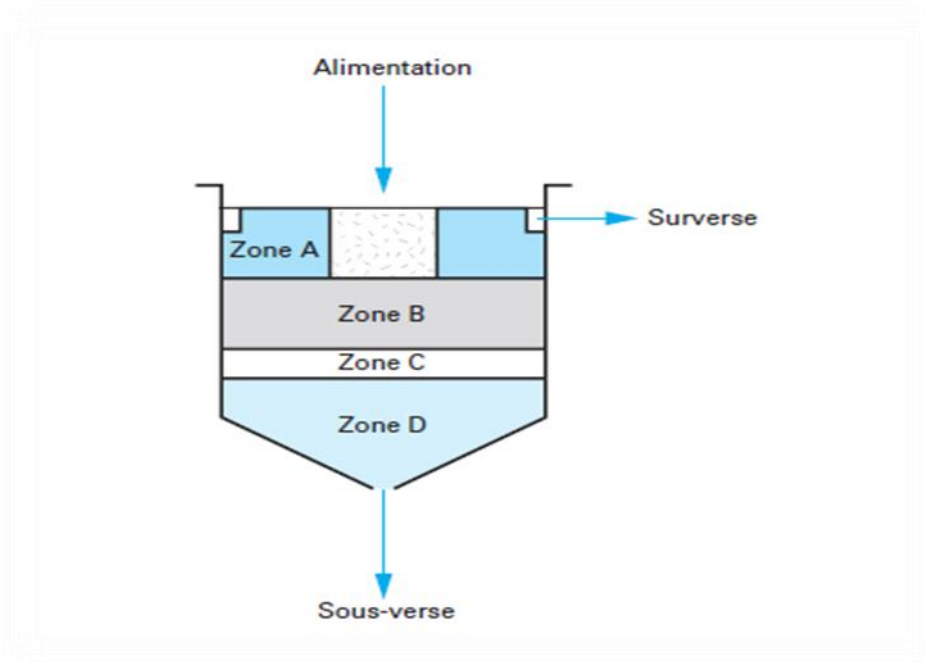


Figure 12 : Représentation schématique d'un décanteur à flux

- ❖ Dans un décanteur à flux vertical, toute particule dont la vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascendante du liquide est retenue dans la sous-verse.
- ❖ Dans un décanteur à flux horizontal, le débit (Q) qui traverse uniformément le décanteur de profondeur (H) et de largeur (l), permet d'obtenir une vitesse horizontale de transfert du fluide suivant la relation :

$$U_f = \frac{Q}{H l}$$

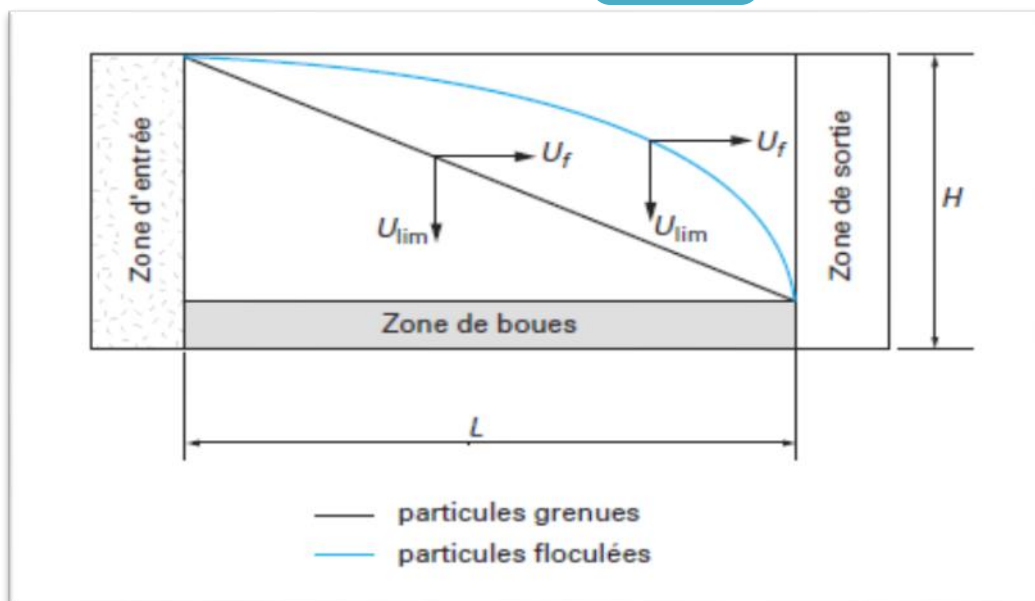


Figure 13 : Coupe schématique d'un décanteur à flux horizontale

Dans la zone intermédiaire de décantation, les particules acquièrent une vitesse limite de chute donnée par la loi de Stokes. Par conséquent, une particule est retenue par le

décanteur de longueur L si :

$$\frac{U_l}{H} > \frac{U_f}{L}$$

Donc $\frac{U_l}{H} > \frac{U_f}{L} \Rightarrow \frac{U_l}{H} > \frac{Q}{HL} \Rightarrow U_{lim} > \frac{Q}{S_H} \Rightarrow U_{lim} > U_H$

Avec L: la longueur du décanteur

U_f : vitesse de transfert du fluide

U_H : vitesse de Hazen

U_l : vitesse limite de chute

Q : débit volumique

S_H : surface de Hazen

III. Suspensions concentrées

1. Méthode de Talmage et Fitch

Tout d'abord il faut déterminer le point de compression sur la courbe de sédimentation : on trace les tangentes des extrémités de la courbe le point d'intersection nous donne un angle, l'intersection de sa bissectrice avec la courbe de sédimentation c'est le point de compression

Après avoir déterminé le point de compression c sur la courbe de sédimentation, de mener en ce point la tangente à la courbe. On trace l'horizontale au point h_B correspondant à la concentration de boues désirée C_B , sachant que : $h_0 C_0 = h_B C_B$

On détermine graphiquement t_B à partir de l'intersection de l'horizontale d'ordonnée h_B et la tangente au point de compression c (figure 14), et la surface du décanteur est donnée par la relation :

$$S = \frac{t_B M_s}{C_0 h_0}$$

Avec t_B : le temps d'Oltmann

M_s : débit massique $M_s = Q_0 \rho_0$

C_0 : concentration initiale

h_0 : la hauteur initiale de la boue

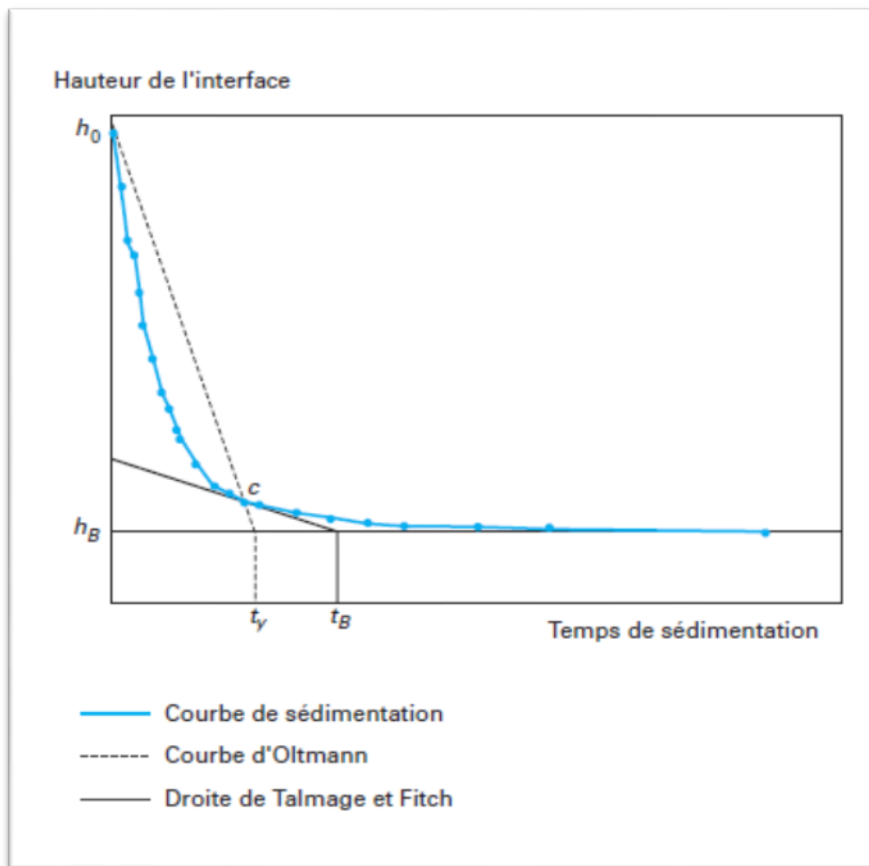


Figure 14 : Courbe de sédimentation montrant les constructions d'Oltmann et de Talmage et Fitch.

2. Méthode d'Oltmann

On utilise l'abscisse t_y du point d'intersection entre la droite d'ordonnée h_B et la droite joignant le point d'ordonnée h_0 de la courbe et le point c , dite droite d'Oltmann (figure 15).

On écrit :

$$S = \frac{t_y M_s}{C_0 h_0}$$

Avec t_y : le temps d'Oltmann

C_0 : concentration initiale de la boue

M_s : débit massique $M_s = Q_0 \rho_0$

h_0 : hauteur initiale de la boue



3. Comparaison des différentes méthodes de détermination de la surface

Une comparaison a été faite par Pearse (1980) entre les différentes méthodes pour le calcul des surfaces unitaires. La pratique montre que la méthode de Talmage et Fitch sous-estime la surface de l'épaisseur donc la méthode d'Oltmann est la plus efficace.

4. Détermination de la hauteur du décanteur

Dans le cas des suspensions concentrées pour lesquelles la floculation est pratiquement immédiate et la sédimentation rapide, la hauteur du décanteur n'intervient pas, à la différence des suspensions diluées. Le décanteur est relativement plat. Augmenter sa hauteur et son volume n'augmente guère la qualité de la surverse. On fixe donc à environ 1m la hauteur du liquide clair.

Par l'étude de la courbe de sédimentation dans le domaine de la compression, on détermine le temps de séjour moyen des boues (t_m) pour atteindre la concentration finale souhaitée. On en déduit le volume de boue V_B et la hauteur h_B qui doit être au maximum égale à 1 m. Si h_B est supérieur à 1 m, on recalcule une nouvelle surface S' .

À cette hauteur h_B il faut ajouter la hauteur correspondant à la zone C, dite zone de transition (figure 12), que l'on prend égale à 0,60 m, et une hauteur supplémentaire définie par le constructeur pour tenir compte de la présence des râteaux entraînant les sédiments vers l'orifice de décharge de la sous-verse.

Il faut toutefois noter que, avec des boues hautement floculées, la hauteur de la zone de compression doit être plus élevée que celle donnée par la courbe de sédimentation. Kos (1979) décrit une méthode permettant d'évaluer cette zone de compression, mais elle n'est pas standardisée ; seuls des tests pilotes ou à grande échelle donnent des résultats valables.

Les résultats obtenus sont sous forme de tableau de la hauteur de la boue en fonction du temps, donc on peut tracer la courbe de sédimentation.

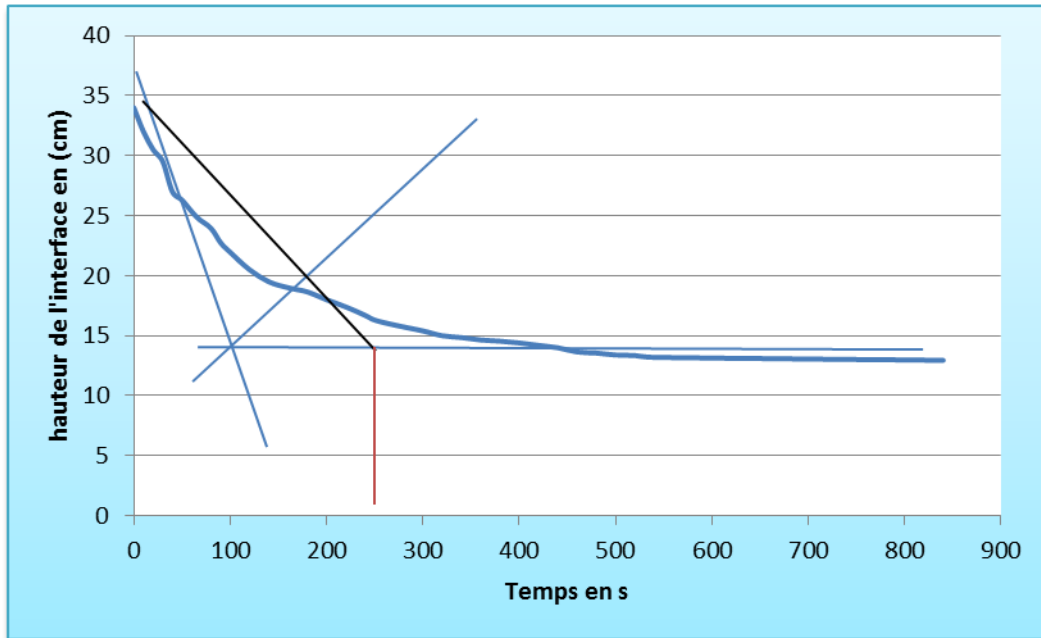


Figure 15 : courbe de sédimentation pour la boue fraîche.

Pour le dimensionnement de la surface, pour sa efficacité, on va adopter la méthode d'Oltmann. Pour se faire on va construire la courbe d'Oltmann.

❖ Calcul de la surface

On écrit d'après la méthode d'Oltmann :
$$S = \frac{t_y M_s}{C_0 h_0}$$

Avec M_s : débit massique

$$M_s = Q_0 \rho_0$$



$$S = \frac{t_y Q_0 \rho_0}{C_0 h_0}$$

Avec t_y : le temps d'Oltmann

Q_0 : débit volumique

C_0 : concentration initiale de la boue

h_0 : hauteur initiale de la boue

A.N:



Projet de fin d'étude



$$Q_0 = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_0 = 1826 \text{ kg/m}^3$$

$$C_0 = 10,62 \text{ g/l}$$

$$h_0 = 0,34 \text{ m}$$

$$t_y = 240 \text{ s}$$



$$S = \frac{2000 \cdot 1826 \cdot 240}{0,34 \cdot 10,62 \cdot 3600}$$

Ce qui donne :

$$S = 67427.35 \text{ m}^2$$

Et on a $S = \frac{\pi D^2}{4}$ donc

$$D = 293 \text{ m}$$

II. Essais sur la phase argileuse

On fixe un taux de solide de 5.9% qui correspond à une concentration de $C_0 = 61.4 \text{ g/l}$ et on fait les essais suivants, avec flocculant Snf concentration :2g/l

Essai N⁰¹ : On commence par le premier essai sans flocculant .On constate une vitesses de sédimentation très lente.

Essai N⁰² : On ajoute Flocculant(Snf) avec consommation spécifique de 200g/t. On n'observe pas un changement intéressant, la vitesse de sédimentation reste toujours très lente.

Essai N⁰³ : On ajoute Flocculant (Snf) mais cette fois avec une consommation spécifique de 800g/t. On observe une légère augmentation au niveau de vitesses de sédimentations, mais ça reste toujours lente et on arrive à un taux de solide de 10% pour une durée de 3H

Essai N⁰⁴ : On ajoute Flocculant avec consommation spécifique de 1000g/t. Cette fois on observe de bon résultat, On arrive à un taux de solide de 12% dans 1H26min.

Essai N⁰⁵ : On ajoute Flocculant avec consommation spécifique de 1200g/t. On observe une floculation instantanée mais une vitesse de sédimentation lente.

Conclusion : les essais montrent que la consommation spécifique optimale est 1000g/t. et avec cette consommation qu'on va travailler pour le dimensionnement.

Pour l'essai N⁰⁴ on a les données suivantes :

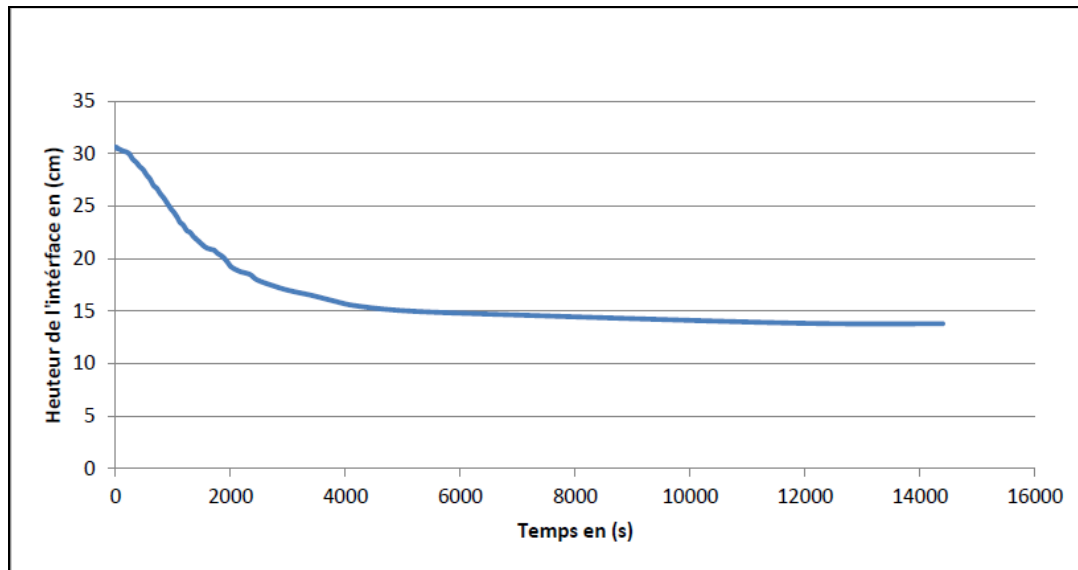


Figure 16 : courbe de sédimentation pour l'essai N°4

❖ Calcule de la surface du décanteur

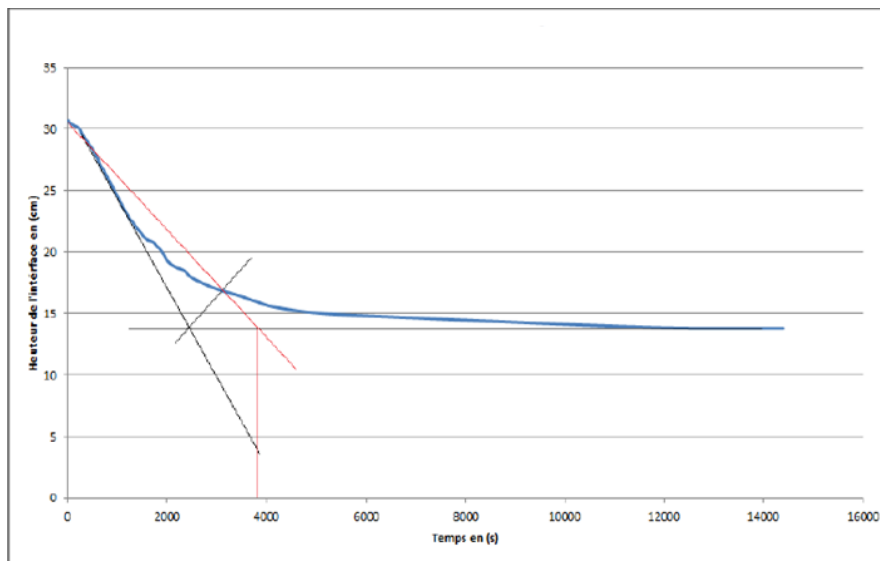


Figure 17 : courbe de sédimentation avec droite d'Oltmann

On tire le temps $t_y=3800s$. Et on écrit d'après la méthode d'Oltmann :

$$S = \frac{t_y M_s}{C_0 h_0}$$



$$S = \frac{t_y Q_0 \rho_0}{C_0 h_0}$$

A.N:



$$Q_0 = 3318 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_0 = 1826 \text{ kg/m}^3$$

$$C_0 = 61.4 \text{ g/l}$$

$$h_0 = 31 \text{ m}$$

$$t_y = 3800 \text{ s}$$



$$S = \frac{3800 \cdot 3318 \cdot 1826}{3600 \cdot 0,31 \cdot 61,4}$$

Ce qui donne :

$$S = 335991 \text{ m}^2$$

Et on a $S = \frac{\pi D^2}{4}$

donc

$$D = 654 \text{ m}$$

❖ Calcul de la hauteur du décanteur

Par l'étude de la courbe de sédimentation dans le domaine de la compression, on détermine la hauteur finale $h_b = 17.2\text{cm} = 0.172\text{m}$ correspond à la concentration finale souhaitée. À cette hauteur h_b il faut ajouter la hauteur correspondant à la zone C, dite zone de transition, que l'on prend égale à 0,60 m, et une hauteur supplémentaire définie par le constructeur pour tenir compte de la présence des râeaux entraînant les sédiments vers l'orifice de décharge de la sous-verse. Donc on estime la hauteur du décanteur à 1m.

❖ Conclusion

Pour une boue fraîche, on arrive a une vitesse de sédimentation efficace pour une consommation spécifique de **40 g/t** parce que cette boue est composée de deux tranches de particules une de diamètre ($> 40 \mu\text{m}$) et une autre de particules fines de diamètre ($< 40\mu\text{m}$).

Au contraire la boue de la phase argileuse nécessite une grande consommation spécifique qui arrive jusqu'au **1000 g/t** parce que cette boue est composée seulement de particules fines de diamètre ($< 40\mu\text{m}$).



Conclusion

Les laveries de Khouribga se sont engagées depuis quelques années à améliorer ses performances tout en respectant l'environnement et se sont dotées à nos jours de trois décanteurs et des bassins d'épandage de boues qui les ont permises de réduire la consommation spécifique en eau jusqu'à $0,9 \text{ m}^3$ d'eau/Tonne de phosphate lavé et de contrôler le traitement des boues de lavage de ces phosphates. Il est établi que le mode de traitement actuel de ces boues devait permettre de recycler 3,6% de l'eau de procédé, mais seulement 1,4% est actuellement recyclé.

En outre, vu la lenteur de la sédimentation naturelle de la boue, et l'importance du taux d'évaporation que connaît la ville de Khouribga, 13,1% d'eau de procédé sont perdus par évaporation. Le défi actuel est de trouver des solutions permettant de recycler davantage d'eau tout en minimisant les espaces immobilisés pour le stockage des boues.

Pour ce faire, l'approche qui est une amélioration du mode de traitement actuel des boues et qui me concerne consiste au redimensionnement du circuit de décantation.

Pour cette période de stage les études sont effectuées pour deux qualités de boue :

- Une boue fraîche.
- Une boue de la phase argileuse.

Pour la boue fraîche on trouve le diamètre $D = 293\text{m}$ qui est l'équivalent de trois décanteurs d'un diamètre $D = 100\text{m}$ et pour les laveries c'est ça le nombre de décanteur utilisé donc cette boue respecte les normes.

Pour la boue de la phase argileuse le diamètre trouvé $D = 654\text{m}$ qui est très grand donc cette boue nécessite un traitement pour diminuer le diamètre avant de passer au décanteur.

Pour une exploitation meilleure, nous recommandons qu'une étude technico-économique soit faite par la suite.



Remerciement

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon parrain de stage, Monsieur **HAFID Zouhair** pour ses conseils, sa disponibilité et ses valeureuses explications.*

*Ma profonde gratitude va également à Monsieur **IDRISSI KANDRI Noureddine** pour sa disponibilité, l'encadrement et les orientations précieuses qu'il m'a données.*

Je remercie aussi tous les membres du jury, Monsieur A.ZEROUALE et Monsieur E.H.EL GHADRAOUI d'avoir accepté de juger ce travail.

*Je remercie Monsieur **EL YAZGHI EZZAHER Amine**, Monsieur **BOUALI** pour leur chaleureux accueil et pour leur encadrement durant notre stage.*

Je salue vivement tous les personnels : hors-cadres, ouvriers, employés et Techniciens du Services, pour la sympathie qu'ils m'ont adressée au cours de cette période de stage, ainsi que pour leurs précieuses explications et aides

Et finalement,

Merci à mes chers parents, pour leur immense soutien, autant moral physique.

Merci à mes frères et sœurs pour leurs conseils et leur attention, sans oublier mes amis pour leur présence constante.

Un grand Merci.



Sommaire

Introduction 1

Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et description de processus de la laverie

I. Présentation de l'organisme d'accueil 2

- 1. Le groupe OCP-SA** 2
- 2. Situation géographique** 2
- 3. Organigramme** 4
- 4. Activités** 5

II. Description de processus de la laverie 5

- 1. Définition et but de lavage** 5
- 2. Principale phase de lavage** 5
 - a. Débourbage** 5
 - b. Criblage** 6
 - c. Hydroclassification** 6
 - d. Flottation** 7
 - e. Décantation** 7



Chapitre II : Rappels théoriques sur la décantation

I. Généralités	8
1. Principe de la décantation statique	8
2. Caractéristiques des suspensions.....	9
3. Types des décanteurs.....	10
II. Vitesse de sédimentation des particules dans un liquide	11
1. Suspensions diluées	11
a.....	Particules
isolées	11
b.	Particules
floculées.....	13
2.	Suspension
s concentrées.....	13
a.....	Vitesse
limite de chute	13
b.	Temps de
séjour.....	14
III.	
Détermination expérimentale des vitesses de sédimentation	14
1.	Comporte
ment d'une suspension en éprouvette.....	14
2.	Courbe de
sédimentation	15
IV. Théorie de sédimentation	16

Chapitre III : Procédure de dimensionnement d'un décanteur

I. Généralités	18	
II. suspensions diluées	18	
III. suspensions concentrées	20	
1.	Méthode de Talmage et Fitch	20
2.	Méthode d'Oltmann	21



Projet de fin d'étude



3.	Comparaison des différentes méthodes de	
détermination		21
de la surface		
4.	Détermination de la hauteur du décanteur	22

Chapitre IV : Etude expérimentale

I.	Essai sur une boue fraîche	23
II.	Essais sur la phase argileuse.....	25

Conclusion



Liste des figures

Figure 1 : Carte des principaux sites d'implantation d'OCP-SA au Maroc.

Figure 2 : Organigramme de l'OCP-SA.

Figure 3 : Photo d'un débourbeur.

Figure 4 : Schéma de cyclone

Figure 5 : Schéma d'un décanteur.

Figure 6 : Coupe verticale de clarificateur-épaississeur CPM.

Figure 7 : Coupe verticale de clarificateur-épaississeur CPB.

Figure 8 : Évolution de l'aspect d'une suspension en sédimentation dans une Eprouvette.

Figure 9 : Allure générale d'une courbe de sédimentation.

Figure 10 : Courbe de sédimentation et droites d'isoconcentration (Kynch, 1952).

Figure 11 : Courbe de flux de sédimentation.

Figure 12 : Représentation schématique d'un décanteur à flux.

Figure 13 : Coupe schématique d'un décanteur à flux horizontale.

Figure 14 : Courbe de sédimentation montrant les constructions d'Oltmann et de Talmage et Fitch.

Figure 15 : Courbe de sédimentation pour la boue fraîche.

Figure 16 : Courbe de sédimentation pour l'essai N^o4.

Figure 17 : Courbe de sédimentation avec droite d'Oltmann.



Liste des abréviations

BPL : Bone phosphate of lime .

DB : Direction phosboucraa

DC : Direction commerciale

DCOC : Direction de la communication et de la coordination et des opérations

DD : Direction du développement

DE : Direction des exploitations

DEK : Direction des exploitations minières de Khouribga

DF : Direction financière

DIJ : Direction des industries chimiques de Jorf Lasfar

DIS : Direction des industries chimiques de Safi

DM : Direction des approvisionnements et marchés

DQ : Direction de la qualité

DRH : Direction des ressources humaines

HD : hydro-classificateur

OCP : Office chérifien de phosphate.

PME : Petit et moyenne entreprise.

SA : Société anonyme.