SOMMAIRE

Introduction générale……..... 1

Présentation du groupe OCP Jorf lasfar

I. Fiche signalétique du groupe OCP…..……..... 3

II. Description de l'unité d'accueil JORF FERTILIZER COMPANY 2 (JFC2)…… 3

1. Présentation des projets JFC …….……. 3
2. Description générale des ateliers constitutifs de JFC2……..... 4

Chapitre I : Description du procédé de fabrication de l'acide phosphorique

I. Description du procédé de fabrication de l'acide phosphorique ……..... 6

1. Epaississement …….……. 9
2. Attaque-maturation ……..…… 9
3. Filtration …… 11
4. Stockage et clarification d'acide 28%..... 12
5. Concentration D'ACP (CAP)…… 13
6. Produits dérivés et protection environnementale…….…….….... 14

Chapitre II : Etude bibliographique

I. Etude théorique de la décantation…… ..……. 15

1. Aspect générale ……..…….……. 15
2. Théorie de KYNCH ……..……... 15

II. Présentation de la théorie des plans d'expérience ……. 17

1. Quelques éléments de terminologie……... 17
2. La réalisation des plans d'expérience ….....…… 17
   a. Criblage…… 17

b. Les plans de surface de réponse ……. 18

c. Les critères d'optimalité…….……. 18

Chapitre III : Analyse fonctionnelle de l'unité épaississement « Méthode APTE »

I. Introduction……..… 20

II. Identification et validation du besoin…….…… 20

1. Identification du besoin…….…… 20

2. Validation du besoin…….…… 21

III. Identification, validation et appréciations des fonctions …….. 21

1. Identification des fonctions « La pieuvre »…… 21

2. Validation des fonctions……...…….…… 23

3. Appréciation des fonctions……..……..…… 23

IV. Analyse interne……...……... 27

1. Floculation……..…… 27

2. Turbidité……..……...… 28

3. Densité (taux de solide)……. 30

V. Conclusion……..... 31

Chapitre IV : Modélisation de l'épaississement de la pulpe par l'application d'un plan d'expérience

I. Introduction…….. 32

II. Partie expérimentale……...…… 32

1. Essais Jar-test…..……..……. 32

2. Essais préliminaires……...…… 33

3. Mise en place d'un plan d'expérience : plan de criblage.……..…… 35

4. Optimisation par les plans de surface……..……. 38

5. Conclusion…….. 43

Chapitre V : Application des standards de sécurité

I. Introduction…….. 44

II. Identification des activités…...……... 44

III. Identification des dangers et des risques……... 45

IV. Evaluation des risques……..……. 46

V. Evaluation de maîtrise des risques…… 47

VI. Elaboration du plan d'action d'amélioration de la maîtrise……..... 48

VII. Conclusion……..... 50

Conclusion générale……...…….. 51

Références……. 52

Annexes …… 53

Annexe 1 : Formules de calcul…….. 53

Annexe 2 : Formule de calcul…….…….. 55

Annexe 3 : Liste des risques critiques identifiés……... 56

Annexe 3 : Résultats d'évaluation par rubrique THO…….. 58

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Acide phosphorique

ADRPT : Analyse des risques au poste de travail

APTE : Application aux techniques d'entreprise

BMP: BUNGE MAROC PHOSPHORE

CAP : Concentration d'acide phosphorique

CTE : centrale thermoélectrique

DAP : Di ammonium phosphate

EMAPHOS: EURO MAROC PHOSPHORE

FDS : Fiche de donnés de sécurité

FSA : Acide fluosilicique

HSE : hygiène Sécurité Environnement.

IMACID: INDO MAROC PHOSPHORE

JFC2: Jorf fertiliser company 2

JPH : JORF LASFAR PHOSPHATE HUB

MES : Matière en suspension

NTU : Nephelometric unit turbidity

OCP : office chérifienne de phosphate

ODI: OWN DIRECT INVESTMENT

PAP : production d'acide phosphorique

PMP: PAKISTAN MAROC PHOSPHORE

QSE : qualité sécurité environnement

CHSE : Centre Hygiène Sécurité Environnement

SAP : production d'acide sulfurique

TED : traitement des eaux douce

THO : Technique Humain Organisationnel

T_S : taux de solide

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schémas des entrées et les sorties de JFC2…….. 4
Figure 2 : Schéma du principe du procédé……... 8
Figure 3 : Section d'épaississeur…….. 9
Figure 4 : Cuve d'attaque et de maturation…….. 10
Figure 5 : vue en plan approximative d'un filtre PRAYON……. 12
Figure 6 : schéma descriptif d'unité de concentration…….. 13
Figure 7 : Laveur des gaz (scrubber)..... 14
Figure 8 : Évolution de l'aspect d'une suspension en sédimentation et l'allure générale d'une courbe de sédimentation…..…… 16
Figure 9 : schématisation d'un plan d'expérience…….. 17
Figure 10 : Bête à corne du système d'épaississement……. 21
Figure 11 : Diagramme de pieuvre……... 22
Figure 12 : Densité floculant en fonction de la concentration floculant…….. 28
Figure 13 : Turbidité de l'eau de surverse en fonction de la MES…….. 30
Figure 14 : Essais Jar-test pour 5 types de floculant……..... 33
Figure 15 : Courbe de sédimentation pour les différents types de floculant…… 34
Figure 16 : Etude graphique des effets et diagramme de Pareto cumulé pour la réponse densité sortie……. 37
Figure 17 : Etude graphique des effets et diagramme de Pareto cumulé pour la réponse turbidité…….. 38
Figure 18 : Distribution des résidus pour la réponse densité sortie……... 38
Figure 19 : Présentation graphique de l'optimum en 2D et 3D……. 41
Figure 20 : Distribution des résidus pour la réponse turbidité…….. 42
Figure 21 : Analyse et identification des risques……... 44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fiche signalétique…… 3

Tableau 2 : Description et validation des fonctions……... 23

Tableau 3 : Tableau d'appréciation des fonctions…….. 25

Tableau 4 : Description des facteurs. ……..... 35

Tableau 5 : Plan d'expérimentation et résultats obtenu pour le plan de criblage……... 36

Tableau 6 : Description des paramètres pour le plan de surface…… 39

Tableau 7 : Plan d'expérimentation et résultats obtenu pour le plan de surface…… 39

Tableau 8 : Condition pour la validation d'un modèle……... 40

Tableau 9 : Les différents paramètres pour l'analyse de la variance pour la réponse densité sortie…… 40

Tableau 10 : Les différents paramètres pour l'analyse de la variance pour la réponse turbidité…… 42

Tableau 11 : Identification des activités et produits mis en œuvre. …….. 45

Tableau 12 : Evaluation par niveau de fréquence…….. 46

Tableau 13 : Evaluation par niveau de gravité du dommage sur le personnel……... 46

Tableau 14 : Evaluation par niveau d'exposition……... 47

Tableau 15 : Risque critique non maîtriser…… 48

Tableau 16 : Plan d'actions d'amélioration de la maîtrise des risques…….. 49

Résumé

Dans le cadre de sa politique de garder son rang de leader sur le marché du phosphate, le groupe OCP s'engage dans l'amélioration continue des procédés et des performances de production. C'est dans cette même optique qu'il m'a été confié d'améliorer les performances de l'entité JFC2 et plus précisément l'amélioration du système d'épaississement, notamment la qualité de produit de sous verse et surverse.

Dans un premier lieu nous avons évalué les indicateurs de la performance de l'unité d'épaississement, ce qui a permis de constater que le changement des propriétés de la pulpe était la principale cause, et plus particulièrement l'augmentation du pourcentage des particules fines.

Dans un second temps, nous avons modélisé le système étudié, à l'aide d'un plan d'expérience en évaluant la part de chaque facteur. L'utilisation de cette méthode permet de réduire le nombre d'expérience et d'aboutir à des résultats avancés avec plus d'efficacité.

Finalement, la sécurité est une valeur intrinsèque du Groupe OCP. Dans cette vision, nous avons analysé les risques aux postes de travail (ADRPT) selon le standard OCP au niveau de l'unité de réception et d'épaississement de la pulpe de phosphate à JFC2 afin d'établir un plan d'action pour maitriser les risques significatifs.

Abstract

In the framework of its policy to keep its rank as the leader on the market of phosphate, the OCP group engages in the continuous improvement of processes and the performance of production. It is in this context that it has been entrusted to me to improve the performance of the JFC entity2 and more specifically the improvement of the system of thickening, including the quality of product of under pays and overflows.

In the first place, we evaluated the performance indicators of the unit of thickening, which found that the change of properties of the pulp was the main cause, and more particularly the increase in the percentage of fine particles.

In a second time, we modeled the system studied with the help of a plan of experience in assessing the share of each factor. The use of this method allows to reduce the number of experience and lead to advanced results with more efficiency.

Finally, security is an intrinsic value of the Group OCP. In this vision, we have analyzed the risks to the positions of Labor (ADRPT) according to the standard OCP at the level of the unit of reception and thickening of the pulp of phosphate to JFC2 in order to establish a plan of action for mastering the significant risks.

Introduction générale

L'amélioration des performances des entreprises industrielles est un enjeu fondamental pour assurer la croissance économique et maintenir une position concurrentielle sur les marchés internationaux. De nos jours, pour continuer à jouer son rôle, l'entreprise doit être sans cesse en mouvement, s'adapter aux conditions changeantes et améliorer la qualité de ses produits.

En effet, La qualité d'un produit est dépendante des caractéristiques des matières premières à partir desquelles il est obtenu et surtout du procédé industriel permettant cette obtention. Il est aujourd'hui largement admis que cette qualité ne peut être fondée sur une simple analyse du produit fini mais elle est, intrinsèquement, liée à la conception même du procédé de production.

Dans ce sens, le groupe OCP a lancé plusieurs projets et chantiers visant principalement une politique de développement continu à travers l'amélioration de la qualité de ses produits, l'augmentation du potentiel de production, la réduction des coûts, la modernisation des installations et le renforcement de sa position sur le marché international. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet de fin d'études, qui consiste à améliorer les performances de l'entité JFC2 l'une des installations les plus modernes au sein du groupe, que ça soit en terme rendement chimique ou de productivité. Il s'agit aussi d'adopter la culture HSE de l'organisme et s'engager à l'appliquer.

Le présent rapport récapitule le travail réalisé en 5 chapitres :

Tout d'abord une brève présentation du groupe OCP et particulièrement de l'entité d'accueil JORF FERTILIZER COMPANY 2 ;

Le premier chapitre est dédié à une présentation détaillée du procédé JACOBS de production d'acide phosphorique dans l'entité JFC2 lieu de déroulement de notre stage de fin d'études ;

Le deuxième chapitre présente les principes de base de la décantation et de la méthodologie des plans d'expérience ;

Le troisième chapitre propose une initiation à la méthode de résolution, adopté par la contribution d'analyse fonctionnelle de l'unité d'épaississement ;

Le quatrième chapitre est consacré à une application de la méthodologie des plans d'expérience ;

Le cinquième chapitre concerne l'application de quelques standards de sécurité et la promotion de la culture HSE.

Nous terminerons ce rapport par une conclusion générale reflétant les différents résultats obtenus, ainsi que des perspectives recommandées pour performer l'amélioration.

PRESENTATION DU GROUPE OCP JORF LASFAR

Le groupe OCP est un acteur de référence incontournable sur le marché international, il est le leader mondial des exportations de phosphates et produits dérivés, avec des activités couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur, allant de l'extraction de la roche de phosphate à la transformation chimique en acide phosphorique et différents engrais.

I. fiche signalétique du groupe OCP

Tableau 1 : fiche signalétique de l'OCP

Raison sociale	Office Chérifien des Phosphates SA
Forme juridique	Établissement publique relevant du droit privé
Date de constitution	7 août 1920
Mise en place de la structure	Juillet 1975
Président de la Direction générale	M. Mustapha TERRAB
Centres de Production	4 centres d'exploitation minière : Khouribga, Benguérir, Yousoufia, Boucraâ. 2 centres de transformation chimique : Safi / Jorf Lasfar.
Secteur d'activité	Extraction, valorisation et commercialisation des phosphates et produits divers.
Produits	Phosphates, acides phosphoriques, engrais
Effectif	18 000 dont 6 % ingénieurs et équivalents
Capital social	8 287 500 000 Dhs
Siège Social	2, Rue Al Abtal, Hay Erraha, Casablanca
Site Internet	www.ocpgroup.ma

II. Description de l'unité d'accueil JORF FERTILIZER COMPANY 2 (JFC2)

1- Présentation des projets JFC

Les projets «JFC», abréviation de «JORF FERTILIZER COMPANY» s'inscrivent dans le cadre d'une ambitieuse stratégie industrielle mise en œuvre par le Groupe Office Chérifien des Phosphates

dès 2010. Ces projets en cours de réalisation sur le complexe de Jorf Lasfar, visent à construire dix nouvelles plate-formes industrielles intégrées de production des engrais phosphatés destinés aux investisseurs étrangers. L'objectif majeur de ces projets est d'accroitre la capacité de production chimique du groupe OCP pour conquérir de nouveaux marchés à l'échelle internationale ainsi qu'accompagner la demande mondiale en fertilisants.

Le projet JFC2 **(**lieu de déroulement de notre projet de fin d'étude**)** est un ensemble chimique de production, son activité principale est la fabrication et la commercialisation d'acide phosphorique et les engrais (DAP).

Il est composé des ateliers suivants :

- ✓ Atelier Acide sulfurique (SAP) et Utilités (CTE et TED).
- ✓ Atelier Acide phosphorique (PAP).
- ✓ Atelier Engrais (DAP).

2- Description générale des ateliers constitutifs de JFC2

Les ateliers de JFC2 décrits précédemment fonctionnent en série : ils sont donc liés entre eux et leur interaction est représentée sur la figure suivante :

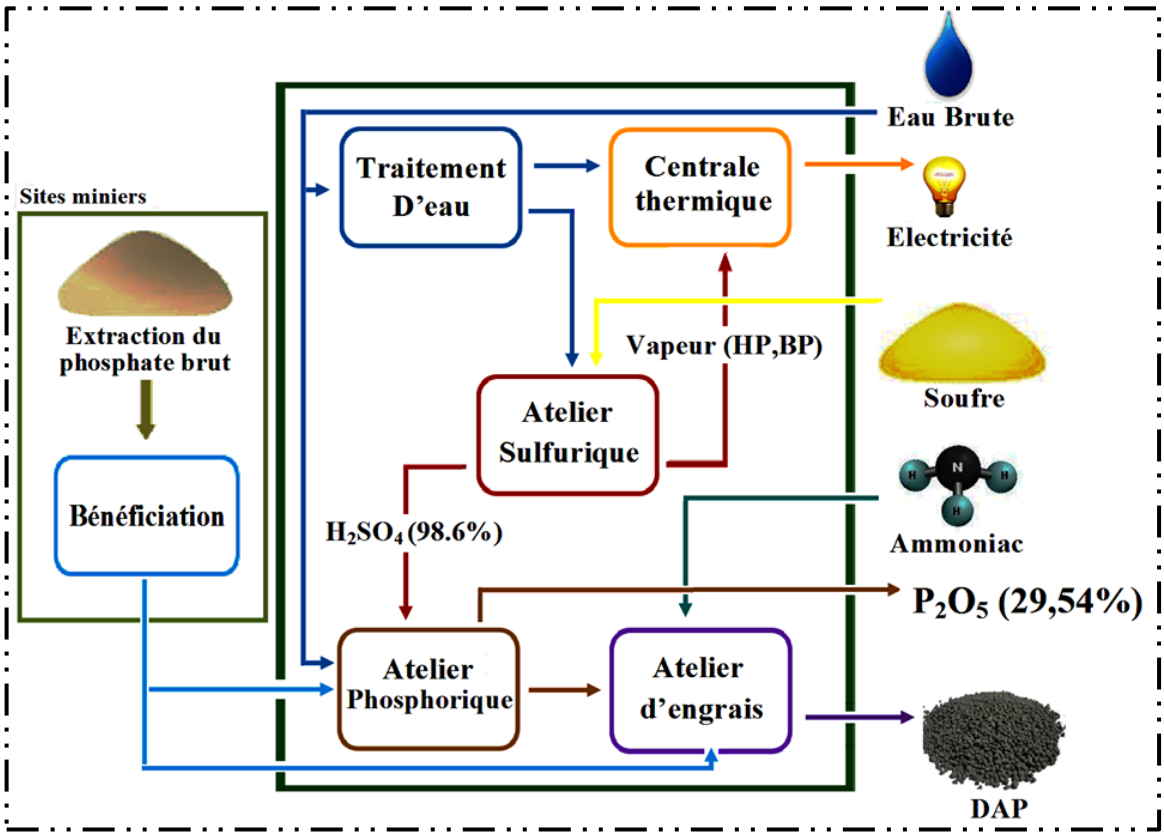


Figure 1 : Schéma des entrées et les sorties du JFC2

❖ Unité 1 : Atelier Acide Sulfurique (SAP) et Utilités (CTE et TED)

L'unité sulfurique de JFC2 est conçue pour produire de l'acide sulfurique, qui entre dans la fabrication de l'acide phosphorique. Elle dispose de :

➢ Centrale Thermoélectrique (Groupe Turbo-alternateur) :

Le groupe turbo-alternateur a pour but de produire l'électricité nécessaire au fonctionnement des installations en utilisant de la vapeur haute pression produite par la chaudière de l'atelier sulfurique qui fait tourner une turbine qui entraine un turbo alternateur qui produit une énergie électrique.

➢ Atelier Traitement d'eau douce (TED) :

L'installation TED a pour rôle le traitement, le stockage et la distribution des différentes qualités d'eaux aux consommateurs et par la suite cette eau sera utilisée pour la fabrication d'acides sulfurique, ainsi que pour des besoins de refroidissement.

❖ Unité 2 : Atelier Acide Phosphorique (PAP)

L'unité de l'acide phosphorique est destinée pour produire 450 000 t/an en P_2O_5 de concentration de 29% et de 54% en acide phosphorique.

❖ Unité 3 : Atelier Engrais (DAP)

L'unité d'engrais est conçue pour la synthèse du DAP (Di-ammonium des phosphates) avec une capacité annuelle de 950 000 tonnes. Le DAP contient les éléments fertilisant principaux que nécessite la croissance des plantes. Ce type d'engrais est commercialisé dans le marché international.

Avec la croissance accrue en demande de phosphate et ses dérivés, le groupe OCP a fait un pas géant en créant des joint-ventures avec des groupes industriels internationaux et qui sont présentées comme suit :

* **EMAPHOS**
* **IMACID**
* **PMP**
* **JPH**
* **ODI**
* **PROJET DOWN STREAM**
* **LA DIRECTION DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT**

CHAPITRE I :

Description du procédé de fabrication de l'acide phosphorique

Résumé

Ce chapitre englobe le procédé de production d'acide phosphorique à partir de l'unité de réception de la pulpe jusqu'aux les bacs de stockage d'acide phosphorique 54%

L'acide phosphorique est le principal dérivé de la chimie phosphorique, il tient son importance du fait qu'il est utilisé dans plusieurs procédés de fabrication. La production de ce dernier passe par plusieurs étapes telles que l'épaississement, l'attaque-filtration, concentration d'acide etc. Dans ce chapitre nous allons présenter une description détaillée de ce processus de fabrication.

I. Description du procédé de fabrication de l'acide phosphorique

La fabrication de l'acide phosphorique peut être réalisée par deux voies :

- Par voie thermique, en oxydant le phosphore ;
- Par voie humide (Attaque des phosphates avec l'acide sulfurique) ;

Procédé par voie thermique

Ce procédé consiste à oxyder le phosphore thermiquement par réduction de phosphate naturel, en présence de coke et de silice, au four électrique. Le phosphore obtenu est oxydé en P_2O_5 puis hydraté en acide. Les réactions de fabrication sont les suivantes :

$$2Ca_3(PO_4)_2 + 6SiO_2 + 10C \xrightarrow{1500°C} P_4 + 10CO + 6(CaO, SiO_2)$$

$$P_4 + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$

$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

L'acide ainsi produit est de grande pureté. Cependant, l'énorme consommation d'énergie électrique rend ce procédé très coûteux et inaccessible à l'échelle industrielle, sauf pour les pays dont le potentiel énergétique est très important.

Procédé par voie humide

C'est le procédé le plus ancien dans l'industrie phosphorique, ainsi il est le plus utilisé dans le monde entier. Il consiste à obtenir de l'acide phosphorique en attaquant le phosphate par un acide minéral fort (H_2SO_4, HCl ou HNO_3). L'acide phosphorique produit par ces procédés, revient moins cher que celui fabriqué par voie thermique ; mais présente l'inconvénient de contenir une très grande variété d'impuretés.

La fabrication de l'acide phosphorique à base de phosphate et d'acide sulfurique peut se faire selon trois types de procédés :

- Procédé dihydrate : le sulfate de calcium se trouve sous la forme ($CaSO_4$, $2H_2O$) ;
- Procédé hémihydrate : le sulfate de calcium sous forme ($CaSO_4$, $1/2\ H_2O$) ;
- Procédé anhydre : le gypse prend la forme ($CaSO_4$) ;

Les procédés dihydrate ($CaSO_4$, $2H_2O$) restent les plus importants du fait de leur flexibilité.

L'atelier de production d'acide phosphorique par le biais de procédé humide dihydrate, comprend les unités suivantes (figure 2) :

- Unité d'épaississement de la pulpe de phosphate ;
- Unité de la réaction ;
- Unité de la filtration ;
- Unité du stockage et clarification d'acide 28% ;
- Unité de la concentration d'acide phosphorique 54% ;
- Unité du stockage et clarification d'acide 54% ;
- Unité d'épuration des fumées (Scrubber) ;
- Unité de la tour de refroidissement des eaux du procédé.

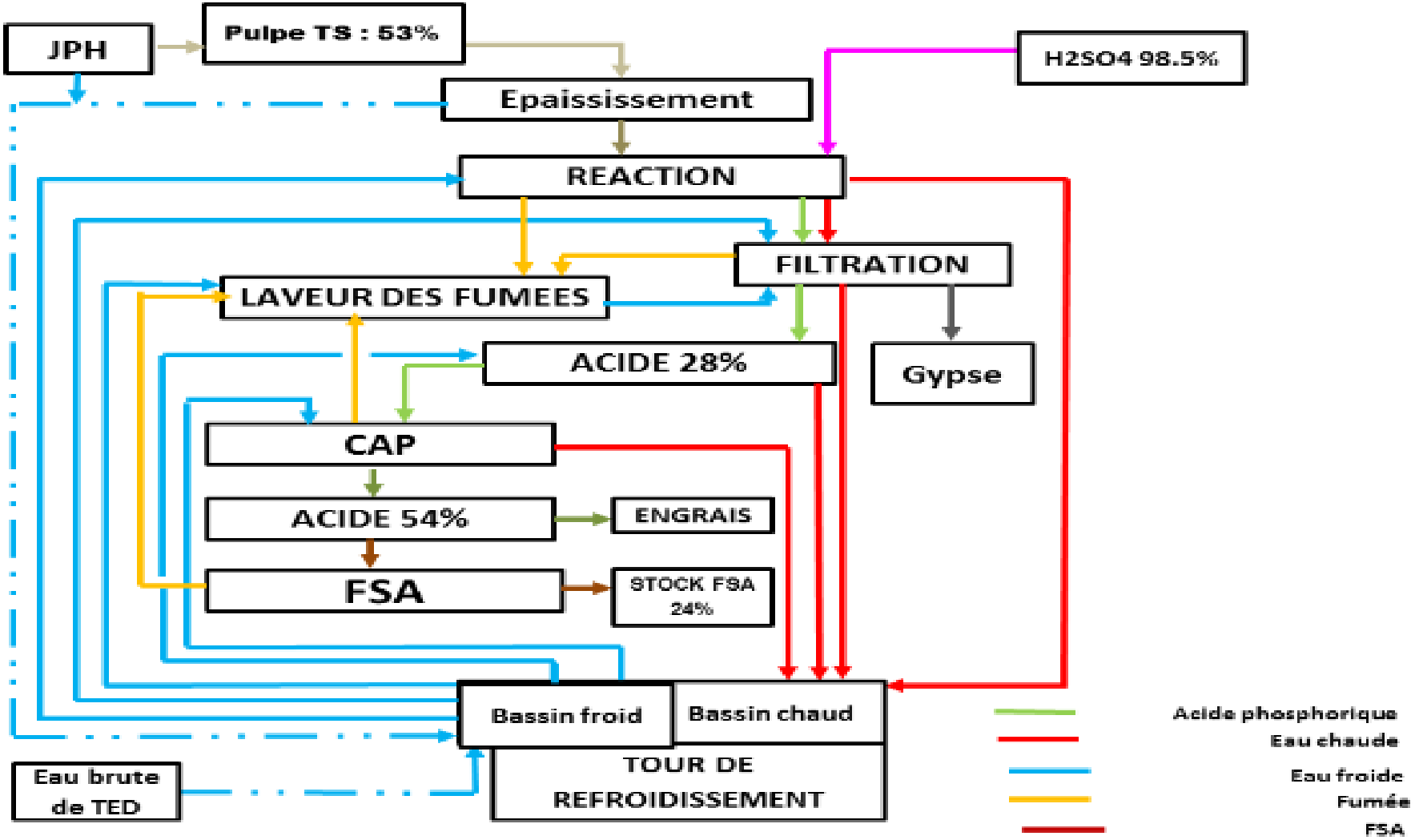


Figure 2 : Schéma du principe de procédé

1- Epaississement de la pulpe de phosphate [1]

Cette étape vise à épaissir la pulpe reçue du terminal avec un taux de solide de 50%, en éliminant l'eau par une simple sédimentation. La pulpe, étant plus dense, se décante au fond de l'épaississeur, et l'eau monte en haut et devient de plus en plus claire. Tout ceci est assuré par l'épaississeur qui se compose d'un racleur, un puit d'alimentation où la pulpe est mélangée avec le floculant, un orifice de décharge pour le soutirage vers les bacs tampons pour être transférer au réacteur et deux autres orifices qui permettent la régulation de la densité en cas d'augmentation ou de diminution. (Figure 3).

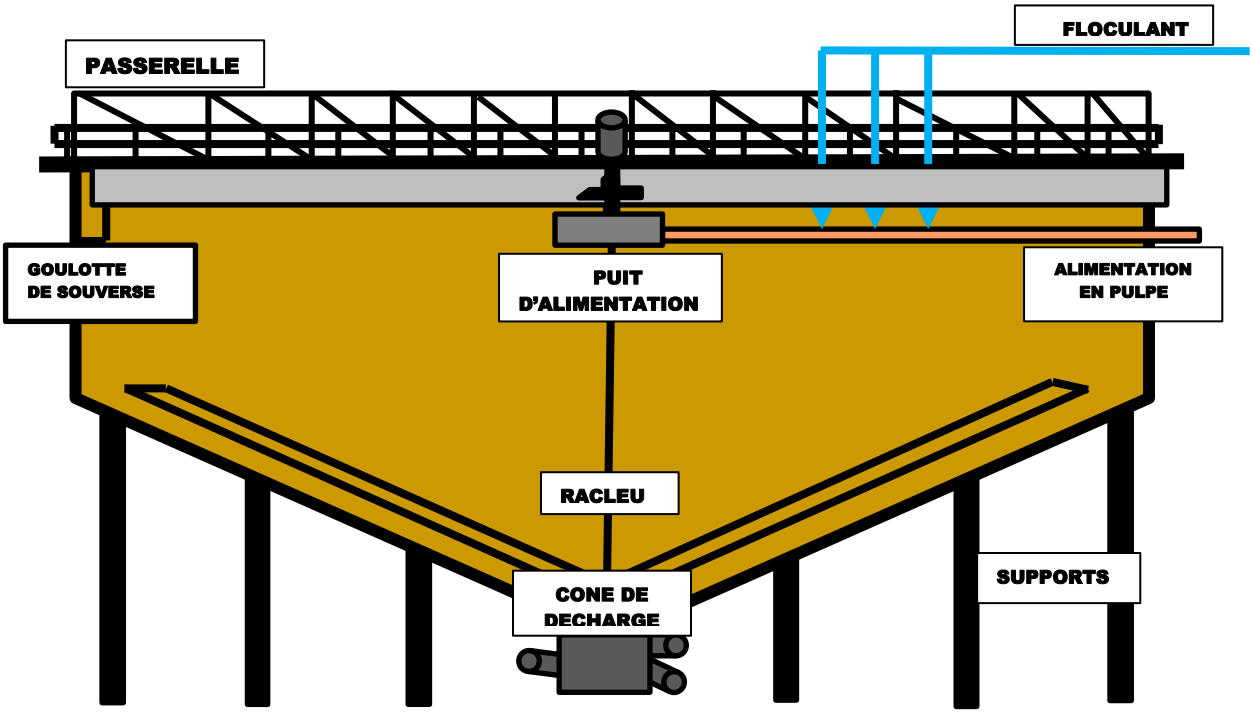


Figure 3 : section d'épaississeur

2- Attaque-maturation [1]

L'unité d'attaque est composée de deux sous-parties :

- La cuve d'attaque : une enceinte cylindrique d'une capacité de 2 380 m³, où les réactions chimiques se réalisent,
- Une chambre de maturation formée de quatre compartiments semblables de 215 m³ chacun pour compléter cette réaction et obtenir les cristaux de gypse optimaux à la filtration.

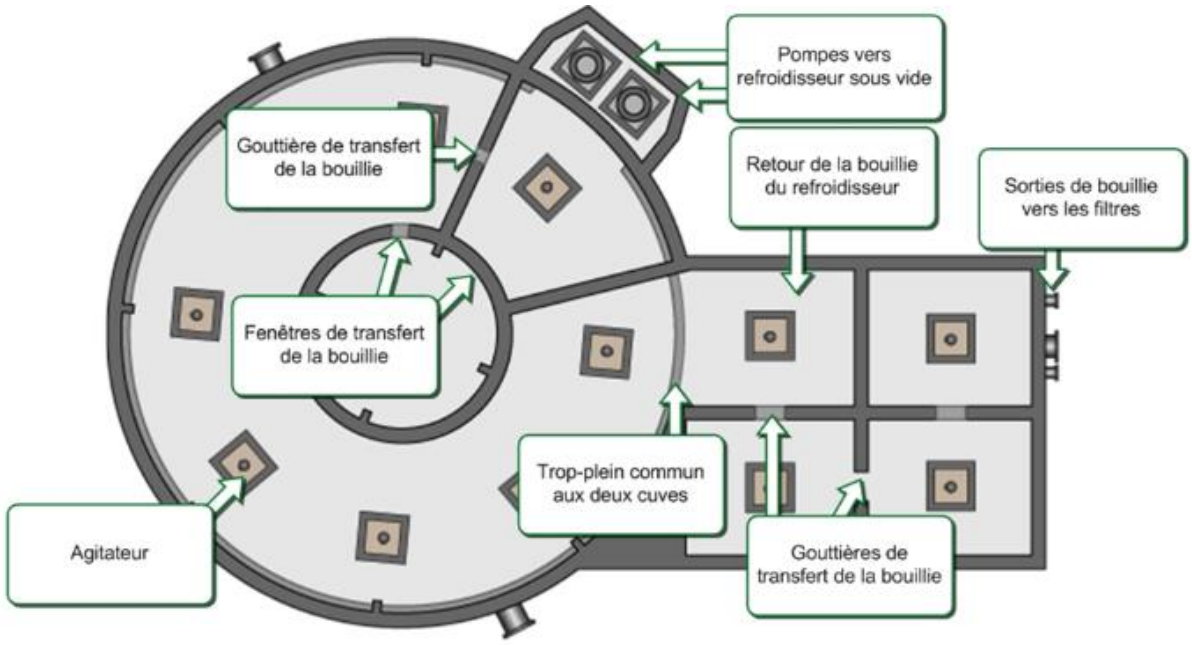


Figure 4 : cuve d'attaque et cuve de maturation

Mode de fonctionnement : Afin de produire de l'acide phosphorique, le réacteur est alimenté, entre autres, en pulpe de phosphate concentré, en acide phosphorique recyclé des filtres et en acide sulfurique.

Le phosphate contient principalement du phosphate de calcium $Ca_3(PO_4)_2$, sous forme de fluorapatite ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$). C'est à partir du phosphate de calcium qu'est produit l'acide phosphorique. D'où la nécessité de son attaque avec l'acide phosphorique moyen issue de la filtration afin de le transformer en phosphate mono-calcique, et par la suite sa réaction avec l'acide sulfurique pour produire l'acide phosphorique 28%.

La réaction principale ayant lieu dans le réacteur est alors celles entre le phosphate de calcium, les acides (phosphorique et sulfurique) et l'eau. Il s'agit de deux réactions successives, qu'on peut résumer dans une seule réaction dites « D'attaque » :

$$\mathbf{Ca_3(PO_4)_2 + 3\,H_2SO_4 + H_2O \rightarrow 2\,H_3PO_4 + 3\,CaSO_4 + H_2O + Q}$$

Cette réaction produit de l'acide phosphorique liquide et du gypse solide, ce qui permet de séparer le produit désiré du sous-produit de la réaction par une simple filtration. Cependant, le minerai de phosphate brut contient beaucoup d'impuretés, ce qui provoque plusieurs réactions secondaires :

- Le fluorure de calcium réagit avec l'acide sulfurique suivant la réaction :

$$CaF_2 + H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow (CaSO_4.2H_2O) + 2HF$$

- La silice en présence d'acide fluorhydrique génère de l'acide fluosilicique (H2SiF6) ces deux acides sont très corrosifs :

$$4HF + SiO_2 \rightarrow SiF_4 + 2H_2O$$

$$2SiF_4 + 2H_2O \rightarrow H_2SiF_6 + SiO_2 + 2HF$$

- Les oxydes métalliques contenus dans le phosphate en présence d'acide fluosilicique produisent des fluosilicates :

$$H_2SiF_6 + Na_2O \rightarrow Na_2SiF_6 + H_2O$$

$$H_2SiF_6 + K_2O \rightarrow K_2SiF_6 + H_2O$$

3- Filtrations de la bouillie et récupération de l'acide phosphorique 28%

La bouillie issue des cuves de maturation est pompée vers le filtre pour séparer l'acide phosphorique des cristaux de gypse formés dans la phase d'attaque. Le filtre est divisé en 30 cellules qui sont répartis sur six secteurs : pré-secteur, secteur fort, secteur moyen, secteur faible, secteur très faible et secteur de lavage des toiles (figure 6).

* **Pré secteur :** La bouillie arrivant des cuves de maturation est acheminée jusqu'au pré secteur par le moyen d'une nacelle qui permet sa répartition équitable sur deux cellules du filtre, ce qui permet la formation du gâteau sur la toile filtrante et améliorer la filtrabilité dans le prochain secteur, l'acide soutiré n'est donc pas bien filtré, il rejoindra le circuit d'acide moyen.
* **Secteur acide fort :** A ce niveau le filtrat a une bonne teneur en P_2O_5, il est appelé acide fort et aspiré via des capillaires vers le stockage d'acide 29%.
* **Secteur acide moyen :** Le gâteau formé à ce stade contient encore des quantités non négligeables de P_2O_5, donc un lavage du gâteau est indispensable, ce lavage se fait par l'acide faible ce qui donne un acide moyen d'une teneur de 18 à 20% en P_2O_5 qui est recyclé vers la cuve d'attaque pour diluer l'acide sulfurique et favoriser les réactions de production d'acide phosphorique.

* **Secteur acide faible :** Le gâteau subit un autre lavage cette fois par l'acide très faible. Le filtrat obtenu via les capillaires contient encore un faible pourcentage en P_2O_5 et il est réutilisé dans le secteur d'acide moyen.
* **Secteur acide très faible :** Le gâteau est lavé par l'eau gypseuse récupérée dans un bac lors de lavage des toiles et filtré sous vide pour donner l'acide très faible capable de réaliser le lavage de la 3ème filtration.
* **Extraction du gypse :** Le gypse est finalement déchargé, par renversement de la cellule basculante en position inverse, dans une trémie arrosée de l'eau de mer servant à son évacuation vers la mer. Le décollement du gâteau de la toile est facilité par la force de gravitation et aussi grâce à un soufflage.

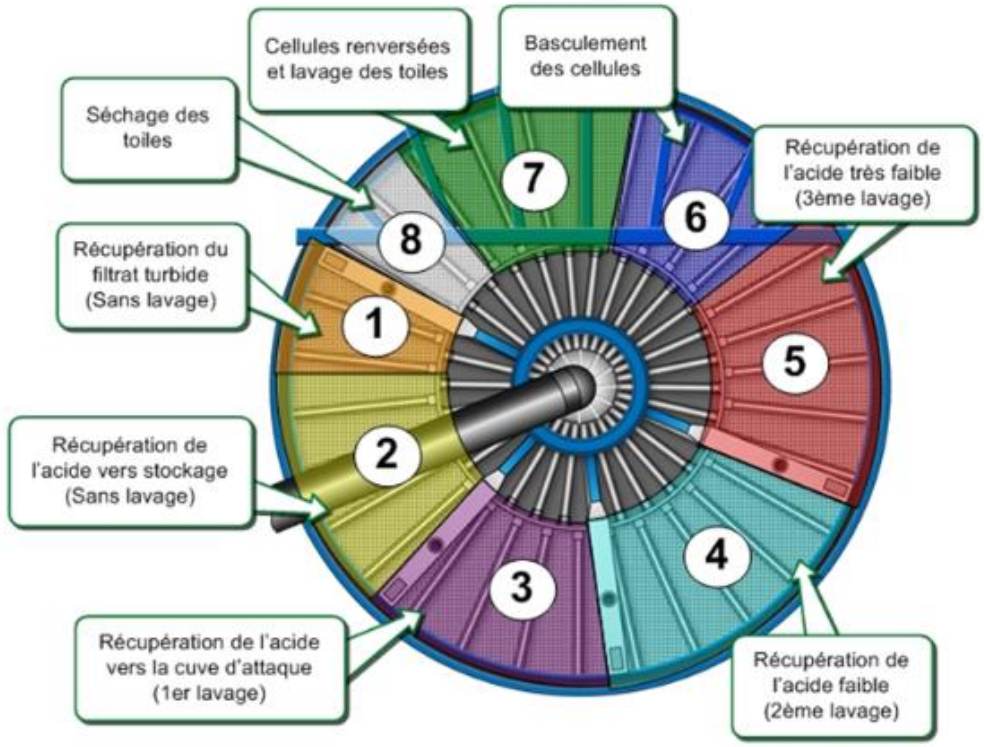


Figure 5 : vue en plan approximative d'un filtre PRAYON

4- Stockage et clarification d'acide phosphorique 28%

L'acide récupérer pendant l'étape de filtration présente 28% en P_2O_5, 1 à 2% en solide et de T=74°C, est refoulé vers le desursaturateur où il subit un refroidissement naturel et à partir de celui-ci il est pompé vers le décanteur pour recueillir L'acide clair en haut dans une gouttière circulaire puis déborde dans le bac intermédiaire à partir duquel la CAP et les engrais (DAP) sont alimentés en acide 28% clarifié.

5- Concentration D'acide phosphorique (CAP) [1]

L'ACP 28 % venant de la section stockage et clarification subit une évaporation (concentration) dans un échelon sous vide en circulation fermée. L'ACP 28 % est alimenté à la sortie de l'échangeur où il se mélange avec l'ACP 54 % surchauffé dans l'échangeur par de la vapeur basse pression fourni par la centrale thermique. Ce mélange entre dans le bouilleur par une pression de la vapeur saturante supérieur à la pression absolu (76 mmHg) régnant dans le bouilleur cela permet d'évaporer l'eau contenant dans l'acide à une température basse d'environ 80 °C. Le niveau dans le bouilleur est maintenu constant de telle façon que la quantité d'ACP 28 % qui rentre se concentre puis déborde dans un tuyau alimentant la pompe d'acide concentré qui l'envoie vers le stockage de l'ACP 54 %. Le schéma descriptif d'unité de concentration (figure 6).

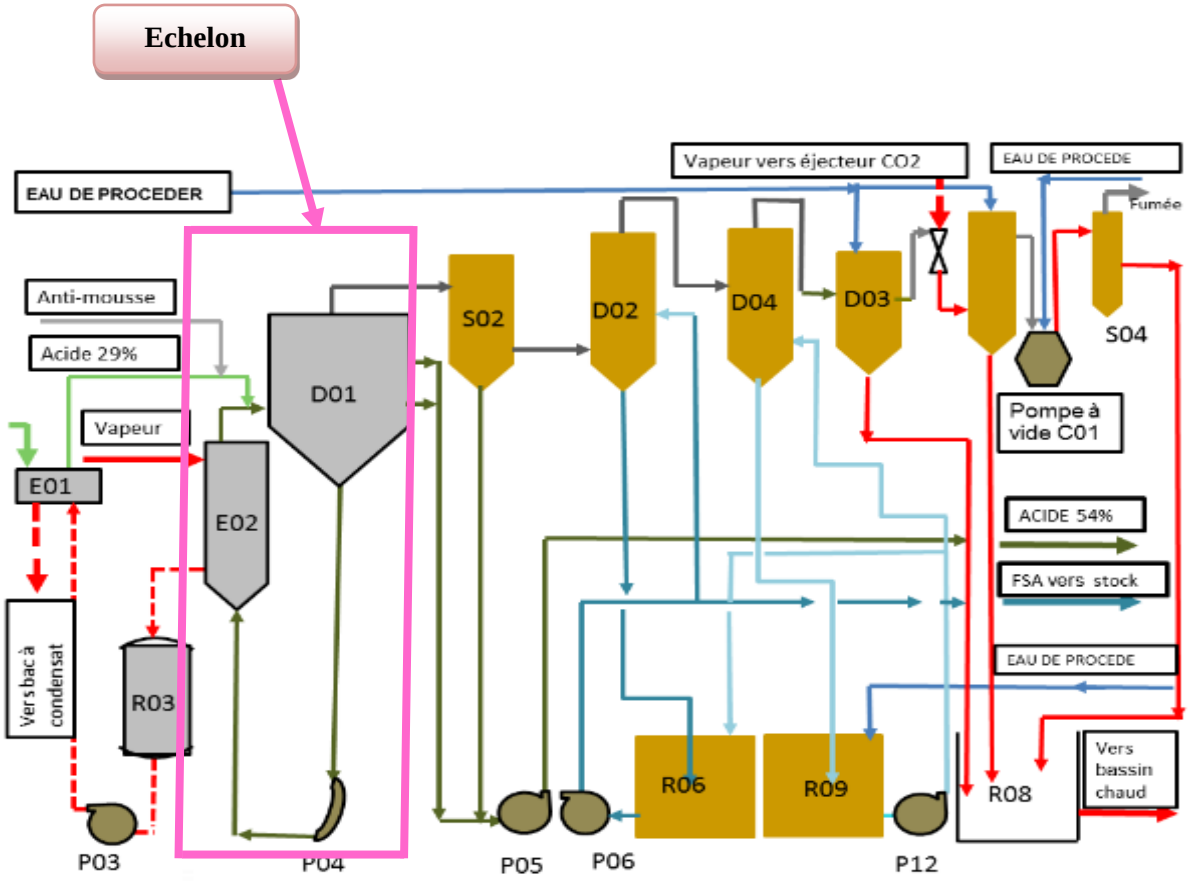


Figure 6 : schéma descriptif d'unité de concentration

6- Produits dérivés et protection environnementale

Le gaz sortie bouilleur est riche en fluore et en silice sous forme de gaz HF et SiO_2 absorbés après un lavage par l'eau de procédé dans le premier condenseur en donnant un acide fluosilicique H_2SiF_6 selon la réaction suivante :

$$6HF+SiO_2 \longrightarrow H_2SiF_6 +2H_2O$$

Le traitement des gaz issus des réactions de production d'acide phosphorique est un enjeu majeur pour l'unité d'où la nécessité de le contrôler afin d'atteindre l'efficacité souhaitée en termes de rejets de gaz et le respect de l'environnement. Le procédé JACOBS utilise un « Fume Scrubber » (figure 7), Il reçoit les gaz dégagés de toutes les équipements.

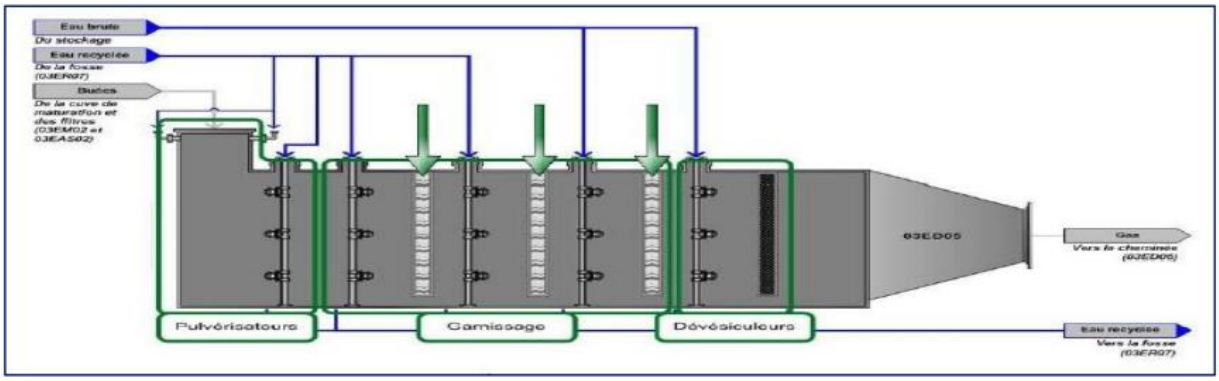


Figure 7 : Laveur des gaz (scrubber)

En ce qui concerne les eaux utilisées sont réutiliser en les refroidissant dans une tour de refroidissement par le biais d'un système de ventilation.

CHAPITRE II :

Etude bibliographique

Résumé

Dans ce volet, nous allons présenter une description du phénomène de la décantation ainsi qu'une présentation de la méthodologie des plans d'expérience (criblage + plan de surface de réponse) adopter pour notre étude expérimentale

I. Etude théorique de la décantation

1. Aspect générale

La décantation est une opération de séparation des phases liquide et solide, basée sur la chute des particules solides dans un liquide, qui est habituellement de l'eau ou une solution aqueuse, sous l'action de la pesanteur. Ces particules se concentrent en bas de l'appareil tandis que le liquide surnageant se clarifie ; Ce procédé peut avoir pour finalité :

- La clarification : C'est l'obtention d'un liquide débarrassé de la majorité des particules solides ;
- L'épaississement : C'est l'obtention des boues contenant un minimum de liquide ;
- La clarification et l'épaississement

On distingue deux types de décantation : Naturelle et artificielle. La décantation naturelle se fait sans l'ajout des produits accélérant la décantation ce qui demande un temps long, par contre la décantation artificielle demande la présence d'un floculant qui augmente la vitesse de décantation ; et c'est la méthode utilisée dans le système d'épaississement de l'unité JFC2.

Les lois qui régissent le mouvement des solides dans un liquide sont très complexes du fait de la multiplicité des facteurs qui interviennent dans le phénomène, parmi lesquels :

- Les caractéristiques des particules : dimensions, masse volumique, propriétés chimiques et minéralogiques…
- La concentration de la suspension.
- La nature du prétraitement.
- Les caractéristiques de la cuve : forme, dimensions.

2. Théorie de KYNCH [2]

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. Elle est une fonction décroissante de la concentration en solide. Les particules de même dimension, de même forme et de même masse volumique sont équi-tombantes et leur concentration est uniforme pour chaque niveau de la colonne de sédimentation. Ainsi, à partir d'essais en éprouvette, KYNCH trace dans le diagramme (h, t) les droites d'iso concentration correspondant aux niveaux où la concentration

a une valeur C donnée, et à leur déplacement dans le temps. La pente de ces droites est donnée par la relation : $$\mathbf{V(c)} = \frac{dh}{dt}$$

Avec V(c) vitesse de déplacement d'un plan de concentration constante (C), par rapport à l'éprouvette.

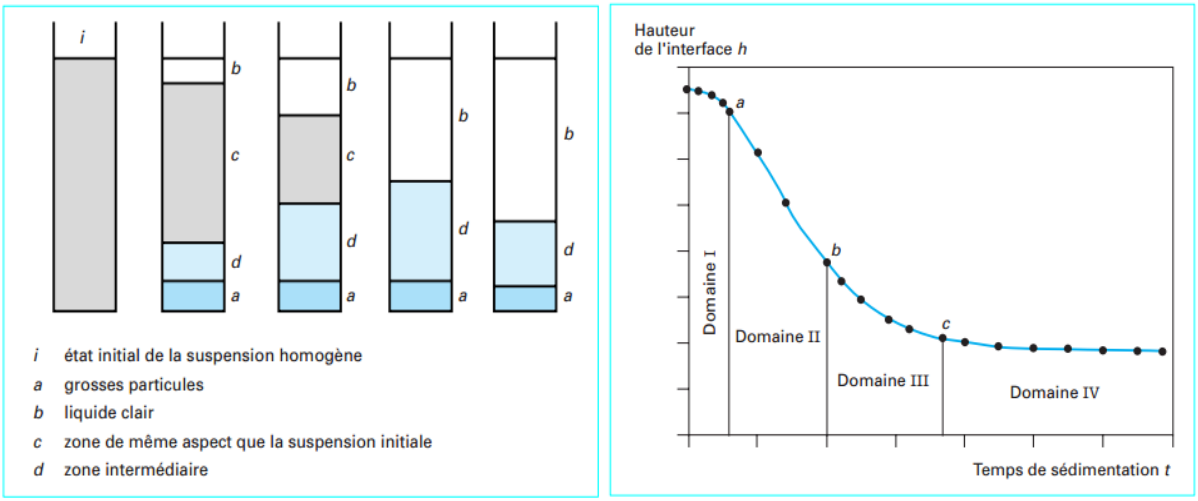


Figure 8 : Évolution de l'aspect d'une suspension en sédimentation et l'allure générale d'une courbe de sédimentation

La courbe de sédimentation présente quatre zones :

- Domaine I : formation de l'interface.
- Domaine II : décantation avec vitesse constante de descente de l'interface, la vitesse dépend de la concentration initiale de la suspension :

$$V = \frac{h_a - h_b}{t_a - t_b}$$

- Domaine III : décantation avec diminution progressive de la vitesse de descente de l'interface.
- Domaine IV : les boues entrent dans une phase de compression Le point c est appelé point de compression.

II. Présentation de la théorie des plans d'expérience

1. Quelques éléments de terminologie

Les plans d'expériences sont des plans d'essai utilisés dans les différents domaines industriels. Selon la norme ISO 3534-3 les plans d'expériences constituent une planification des expériences pour avoir des résultats solides et économiques.

La méthodologie des plans d'expériences permet de relier, pour un procédé, les facteurs (ou paramètres d'entrée) à la réponse (paramètre de sortie) par un modèle mathématique.

Figure 9 : schématisation d'un plan d'expérience

La réalisation des plans d'expériences s'effectue par la classification de tous les facteurs qui peuvent avoir un effet sur la réponse. A chaque facteur on définit le domaine expérimental adéquat, puis la réalisation d'une matrice d'expérimentation selon laquelle on effectue les expériences. La modélisation se fait par la recherche des formes d'influences des facteurs sur le phénomène étudié sous forme d'une équation mathématique qui décrit la variation de phénomène en fonction des facteurs influant. Après la recherche des facteurs influant vient la modélisation via l'étape de l'optimisation dans laquelle on fait le réglage des conditions expérimentales pour avoir le meilleur résultat possible.

2. La réalisation des plans d'expérience

a. Criblage

Un plan de criblage permet de déterminer expérimentalement le poids de chaque facteur. ce plan est réalisé avec une matrice expérimentale appelées Matrice d'HADAMARD.

Le plan de criblage offre la possibilité d'estimer les effets moyens des facteurs.

b. Les plans de surface de réponse

Les plans d'optimisations ou plans de surface de réponse permettent à partir d'un modèle mathématique polynomial de déterminer les valeurs des facteurs influant correspondant à une réponse particulière de système. Le plan de surface de réponse permet aussi la recherche des niveaux optimaux des facteurs pour atteindre un niveau de réponse souhaité. La matrice d'expérience de plan de surface de réponse peut être établie selon un domaine sphérique ou cubique.

- Domaine sphérique : l'expérimentateur désire explorer la zone du plan autour de son centre défini comme point de référence.
- Domaine cubique : l'expérimentateur désire prévoir les variations de la variable de réponse pour des combinaisons du niveau extrême de réponse **[3]**.

Il y'a plusieurs plans d'expérience par surface de réponse : plan de composite centré, plan de Box Benkhen ; plan de Doehlert ; plan Hybride… Le choix entre ces plans doit être adéquat au phénomène sujet d'étude et aux conditions expérimentales. Dans notre projet on s'intéressera au plan de surface de **: BOX BENKHEN.**

c. Les critères d'optimalité

❖ La qualité de modèle : déterminée par l'étude de 2 coefficients qui sont :

Le coefficient de détermination « R^2 » : $\mathbf{R^2 = \frac{SCE_L}{SCE_R} = 1 - \frac{SCE_L}{SCE_T}}$ avec $\mathbf{0 \leq R^2 \leq 1}$

* SCE_L : la somme des carrés des écart de liaison (ou de régression)
* SCE_R : la somme des carrés des écarts de résidu
* SCE_T : la somme des carrés des écarts totaux.

Le coefficient de détermination nous permet de savoir si le modèle est explicatif.

Le coefficient de détermination ajusté « R^2_{ajs} » : $\mathbf{R^2_{ajs} = 1 - \left(\frac{SCE_R}{n-p} \Big/ \frac{SCE_T}{n-1} \right)}$

* n : nombre des essais ;
* p : nombre des coefficients

Le coefficient de détermination ajusté est une mesure de la garantie que le modèle est déterminé avec un nombre suffisant de données.

- La validité de modèle mathématique : décrit par deux tests appelés **ANOVA 1** et **ANOVA 2**

  - ANOVA 1 : c'est une comparaison de la variance due à la régression avec la variance résiduelle qui se traduit par la recherche d'un lien significatif entre les variables et la réponse pour cela la valeur de p-value doit être inférieure à 5%.
  - ANOVA 2 : c'est une comparaison de l'erreur due au modèle (VLOF) avec l'erreur pur (VPE) ; la valeur de p-value doit être supérieur à 5%.

CHAPITRE III :

Analyse fonctionnelle de l'unité épaississement « Méthode APTE »

Résumé

Un problème bien défini est moitié résolu », pour cela nous avons consacré ce chapitre à l'analyse globale de l'état des performances de l'unité épaississement, afin de déceler les paramètres influençant ses performances pour trouver les solutions adéquates par la suite.

I. Introduction

L'analyse fonctionnelle est une méthode qui permet de définir les **besoins** d'un **système** (ou un produit) en termes de **fonctions** et de **contraintes**, dans son **cycle de vie**, toute en recherchant son amélioration continue.

La définition de quelques mots clé est nécessaire pour mieux comprendre cette méthode.

Système : Un système est ensemble d'éléments interagissant selon certains principes.

- Défini par des frontières
- Réalise une mission
- Se maintient dans un environnement changeant.

Besoin : Un besoin est une nécessité ou un désir éprouvé par un utilisateur (norme NF X50-150). Ce besoin peut être exprimé ou implicite.

Fonction : Une fonction est l'action d'un produit ou de l'un de ses constituants *(norme NF X50-150)* Par convention, elle est exprimée en termes de finalité (but) indépendamment des solutions susceptibles de la réaliser.

Contrainte : Une contrainte est une règle ou une condition obligatoire à laquelle la fonction doit répondre. **[4]**

II. Identification et validation du besoin [6]

1. Identification du besoin

L'insatisfaction qui motive l'installation d'une unité d'épaississement c'est que la pulpe destinée à la production d'acide phosphorique arrive avec une faible densité (faible taux de solide).

Donc pour mieux l'identifier on se base sur un simple outil graphique dit « Bête à corne ».

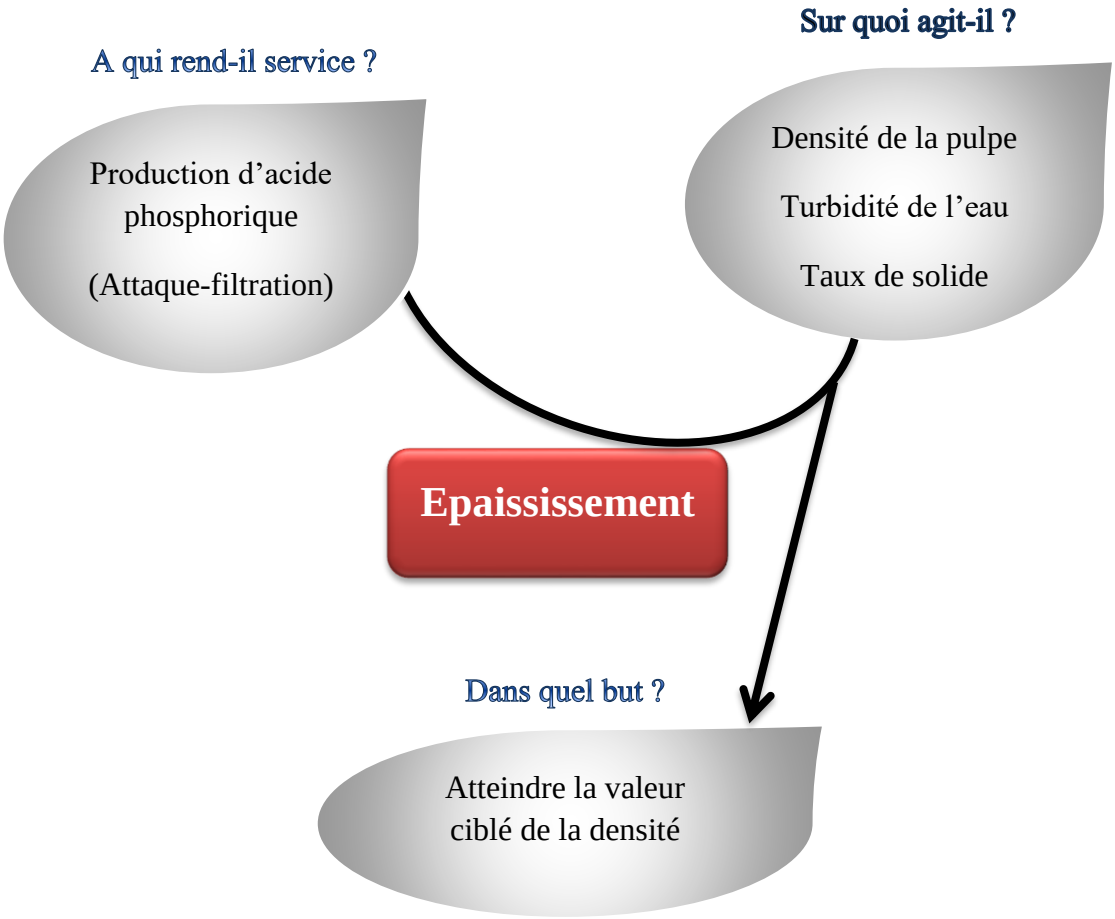


Figure 10 : Bête à corne du système d'épaississement

2. Validation du besoin

Pour cette étape deux formulations sont utilisées :

- ***Pourquoi ?*** : c'est-à-dire à cause de quoi le besoin existe-t-il ?
  - * Faible densité de la pulpe
  - * Faible taux de solide
- ***Pour quoi ?*** : c'est-à-dire dans quel but ?
  - * Epaissir la pulpe

III. Identification, validation et appréciation des fonctions

1. Identification des fonctions « La pieuvre »

On modélise le système ''épaississement'' par le diagramme pieuvre suivant :

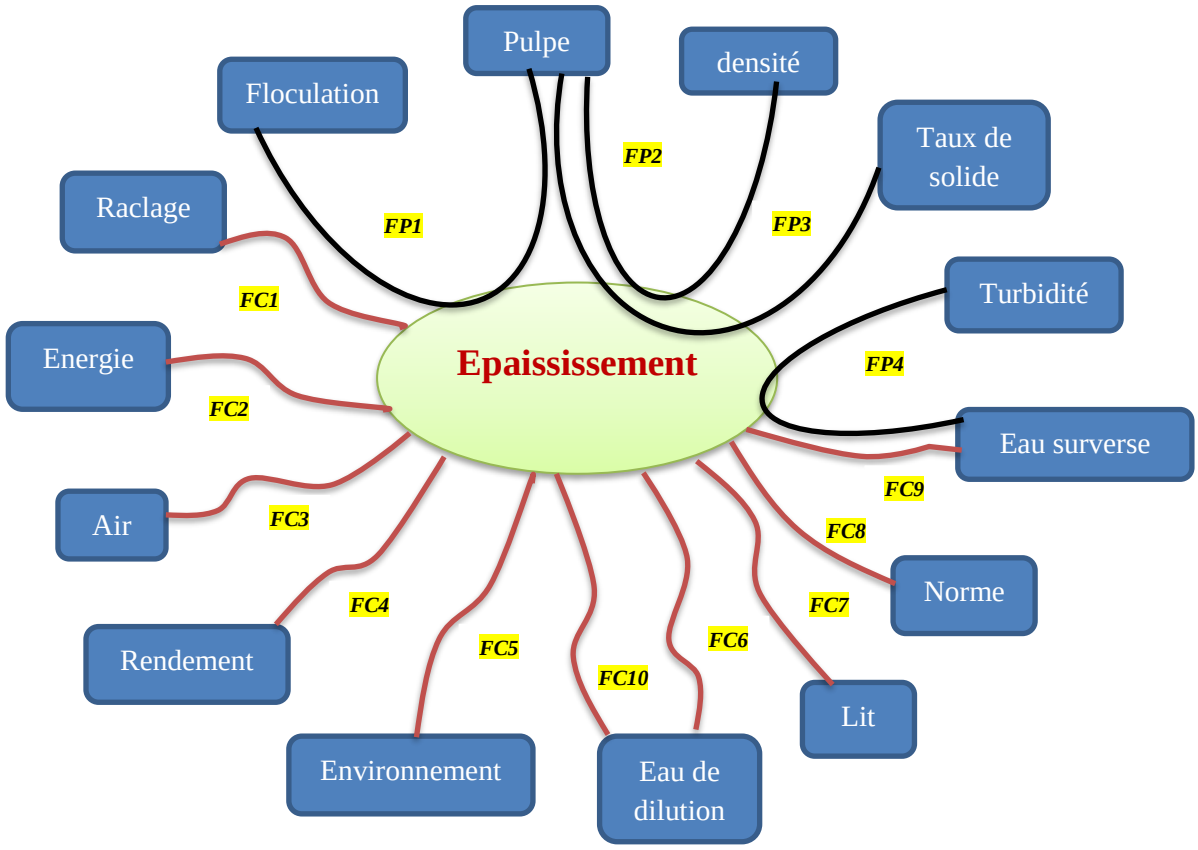


Figure 11 : Diagramme de pieuvre

Les rôles des fonctions principales (FP) et des fonctions contraintes (FC) sont représentées ci-dessous.

FP1 : favorise une rapidité pour la sédimentation ;

FP2 : Permettre une augmentation de densité jusqu'à une valeur cible ;

FP3 : Permettre une augmentation de taux de solide jusqu'à une valeur cible ;

FP4 : Clarification de l'eau qui déborde d'épaississeur ;

FC1 : Entrainement de la pulpe épaissit vers l'orifice de décharge ;

FC2 : Utiliser les énergies disponibles. Ne pas consommer trop ;

FC3 : Injection d'air nécessaire ;

FC4 : Avoir un rendement adéquat ;

FC5 : Contribuer au respect de l'environnement ;

FC6 : Dilution d'agent floculant ;

FC7 : Influence la sédimentation en termes de pression et niveau ;

FC8 : Respecter les normes (dimension-sécurité-conformité etc.) ;

FC9 : Optimisation de la consommation d'eau débordée.

FC10 : Dilution de la pulpe.

2. Validation des fonctions

Pour chacune des fonctions, il faut répondre aux questions suivantes **(Tableau 2)** :

- **Pourquoi ? (P ?) :** A cause de quoi la fonction existe-elle ?
- **Pour quoi ? (PQ ?) :** la fonction existe dans quel but.

3. Appréciation des fonctions

Il s'agit de Caractériser et déterminer les critères de chaque fonction. Pour cela il faut déterminer **(Tableau 3)** :

- **Les critères d'appréciation** : Ces critères permettent de savoir si la fonction est satisfaite ou non.
- **Le niveau de critère** : Grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction.
- **La tolérance** : C'est l'écart accepté par rapport au niveau
- **La limite d'acceptation** : Niveau de critère d'appréciation au-delà duquel (ou en deçà suivant le cas) le besoin est jugé non satisfait.

Tableau 2 : Description de la validation des différentes fonctions

Fonction	Pourquoi ?	Pour quoi ?	Etat des lieux	Statut
Favorise une rapidité pour la sédimentation (FP1)	**Parce que** la sédimentation est lente	**Dans le but** d'accélérer la sédimentation	Formation des flocs	Toujours valable
Permettre une augmentation de densité jusqu'à une valeur cible (FP2)	**Parce que** la réaction nécessite une densité bien déterminée	**Dans le but** d'avoir un Bon rendement de la réaction	Augmenter la surface d'attaque	Toujours valable

Fonction	Pourquoi ?	Pour quoi ?	Etat des lieux	Statut
Permettre une augmentation de taux de solide jusqu'à une valeur cible (FP3)	**Parce que** la réaction nécessite un taux de solide bien déterminée	**Dans le but** d'avoir un bon rendement de la réaction	Augmenter la surface d'attaque	Toujours valable
Clarification de l'eau qui déborde d'épaississeur (FP4)	**Parce qu'**il y'a une forte dilution de la pulpe	**Dans le but** de la Récupération d'eau	Une turbidité modérée de l'eau récupérée	Toujours valable
Entrainement de la pulpe épaissit vers l'orifice de décharge (FC1)	**Parce qu'on a une** Surcharge du cône inférieur	**Dans le but** d'entrainement de la pulpe	Faciliter la circulation	Toujours valable
Utiliser les énergies disponibles. Ne pas consommer trop (FC2)	**Parce qu'il y'a** des systèmes (Pompe, compresseur, moteur)	**Dans le but** de Fonctionnement (pompes etc.)		Toujours valable
Injection d'air nécessaire (FC3)	**Parce qu'on a** Le mélange solide-liquide	**Dans le but** de Pousser la séparation	La base est la variation de densité	Toujours valable
Avoir un rendement adéquat (FC4)	**Parce que** ça influence l'Attaque-filtration	**Dans le but** d'avoir un rendement adéquat	Ce rendement influence d'autre part le rendement global de production	Toujours valable
Contribuer au respect de l'environnement (FC5)	**Parce qu'**il y'a des exigences a respecté	**Dans le but** de Respecter l'environnement		Toujours valable

Fonction	Pourquoi ?	Pour quoi ?	Etat des lieux	Statut
Dilution d'agent floculant (FC6)	**Parce que** la qualité de la pulpe est variable	**Dans le but** d'avoir Une meilleur dispersion du floculant	Elimination des zones de surconcentration	Toujours valable
Influence la sédimentation en termes de pression et niveau (FC7)	**Parce qu'**il y'a formation du lit en bas d'épaississeur	**Dans le but** d'avoir une Zone où la pulpe épaissie	Agglomération et contractassions des flocs	Toujours valable
Respecter les normes (FC8)	**Parce qu'**il y'a des exigences a respecté	**Dans le but** de Respecter les normes		Toujours valable
Optimisation de la consommation d'eau débordée (FC9)	**Parce qu'**il y'a une eau clarifiée	**Dans le but** d'optimiser la consommation de l'eau clarifiée	Valorisation de cette eau ou bien la rejeté	Toujours valable
Dilution de la pulpe (FC10)	**Parce que** le taux de solide est élevé	**Dans le but** de bien homogénéisé la pulpe et le floculant	Elimination des zones de surconcentration	Toujours valable

Tableau 3 : Appréciation des fonctions

Fonction	Critère	Niveau (moyenne)	Tolérance	Limites
Favorise une rapidité pour la sédimentation (FP1)	[Floculant]	0,5 g/l	± 0 g/l	
	Consommation Spécifique	30 g/t	± 0 g/t	
Permettre une augmentation de densité (FP2)	Densité sortie Thickener	1660 kg/m^3	±10 g/l	Min : 1650 Max :1670

Fonction	Critère		Niveau (moyenne)	Tolérance	Limites
Permettre une augmentation de taux de solide jusqu'à une valeur cible (FP3)	Taux de solide		60 %	± 2%	Min : 58 Max : 60
Clarification de l'eau qui déborde d'épaississeur (FP4)	Turbidité		Variée en NTU		Max : 100
Entrainement de la pulpe épaissit vers l'orifice de décharge (FC1)	Couple		14 %	± 6 %	Max:25%
	Vitesse		0,121 tr/min	± 0 tr/min	
Utiliser les énergies disponibles. Ne pas consommer trop (FC2)	Puissance	Moteur	30 Kw	± 0 kW	
	Vitesse	Compresseur	1500	+1500 tr/min	
	Débit	Pompes	220 m3/h	20m3/h	
Injection d'air nécessaire (FC3)	Débit d'air		127 m^3/h	+ 70	Design 200
Avoir un rendement adéquat (FC4)	Rendement ''mois février''		89 %	+ 2 % - 4 %	Min : 85 Max : 91
Contribuer au respect de l'environnement (FC5)	Environnement		Norme standard	Aucune	Aucune
Dilution d'agent floculant (FC6)	Débit d'eau de dilution		13 m^3/h	+ 2 m^3/h	15
Influence la sédimentation en	Pression		1,675 bar	± 0,075 bar	Min : 1,6 Max : 1,7

termes de pression et niveau (FC7)	Niveau	1,7 m	± 1,1 m	Min : 2,8 Max : 0,6
Respecter les normes (FC8)	Equipement fiable	Norme standard	Aucune	Aucune
	Assurance garantir sécurité	Tous risques	Aucune	Aucune
Optimisation de la consommation d'eau débordée (FC9)	Débit débordé	87m^3/h	Design 600 m^3/h	

IV. Analyse interne

Cette analyse consiste à mieux détailler les fonctions principales, autrement dit on va essayer de donner les cas de déréglage ainsi que les réglages qui auront lieu pour chaque fonction principale.

1. Floculation

La fabrication de la pulpe épaissit (à une densité bien déterminée) dépend intimement de la concentration de l'agent floculant. Pour ceci une corrélation s'impose pour mieux contrôlé cette concentration.

N.B : En cas de déviation d'un des paramètres de systèmes, le floculant n'intervient pas en réglage. C'est-à-dire on ne modifie pas la concentration de floculant pour régler un problème de diminution de taux de solide ou l'augmentation de ce dernier.

Corrélation entre le dosage de floculant et la densité de solution :

Le contrôle de la concentration du floculant constitue une étape importante, à base de laquelle on peut optimiser le fonctionnement de l'épaississeur.

En effet, la concentration du floculant est ajustable dans la station de floculation mais elle n'est pas mesurée. En outre, aucune méthode d'analyse chimique ne peut être fait car on ne dispose pas la formule chimique du floculant, c'est la raison pour laquelle, on a réalisé un mode opératoire qui consiste à calculer la concentration du floculant via sa densité.

❖ **Mode opératoire**

Nous avons effectué plusieurs essais, réalisés par le mode opératoire suivant :

- On dissout une masse m de floculant dans 0,5l d'eau. La masse du floculant ajoutée constitue la concentration du floculant dans l'eau (g/l), car le volume de la solution préparée reste constant (0.5l) sans augmentation.
- On mesure la densité de la solution préparée par un densimètre.

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure ci-dessous :

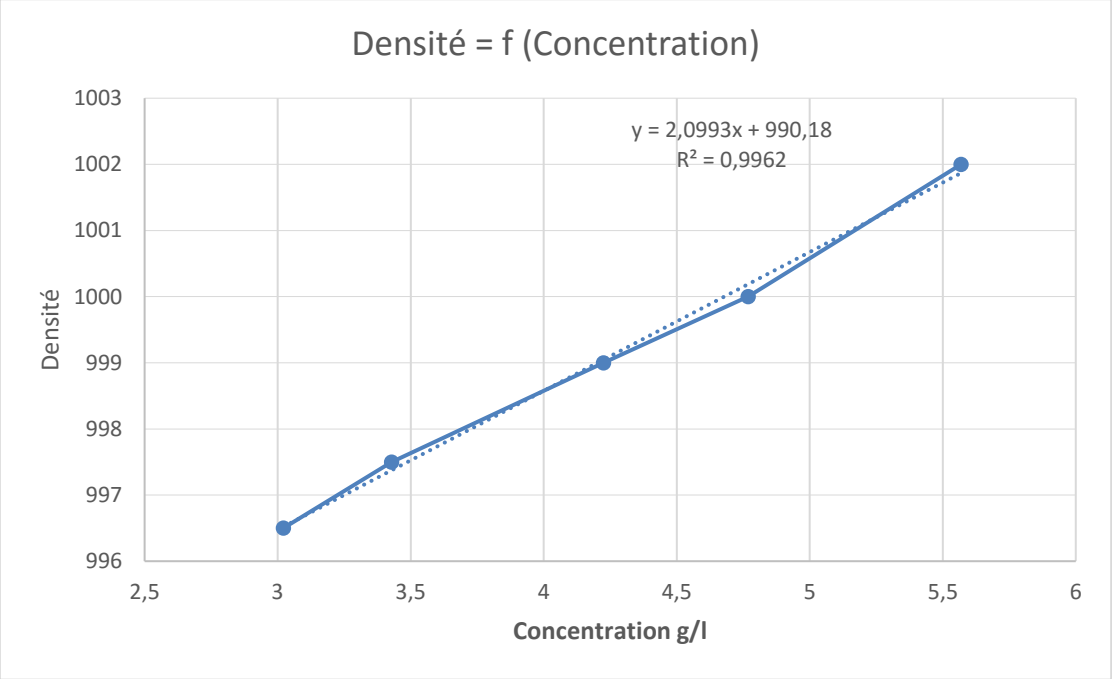


Figure 12 : Densité floculant en fonction de la concentration floculant

On constate que le tracé est linéaire à 99.62%, L'équation de droite :

$$\mathbf{[Densité.Floc] = 2{,}0993*[Conc.Floc] + 990.18}$$

$$\mathbf{[Conc.Floc] = \frac{[Densité.Floc] - 990.18}{2{,}0993}}$$

À la base de cette équation nous pouvons calculer la concentration du floculant avec une simple mesure de densité au laboratoire local.

2. Turbidité

C'est la teneur en particules fines de diamètre inférieure à 40µm emprisonnée dans l'eau clarifié (eau de surverse).

N.B : En cas de déviation de la turbidité il faut Arrêter l'alimentation de la pulpe ainsi que du floculant et maintenir une alimentation de l'eau

Corrélation entre turbidité (NTU) et les matières en suspension (ppm) :

L'eau est filtrée grâce à des filtres en fibre de verre. Pour cette manipulation, une quinzaine de dilutions différentes va être effectué. L'eau prélevée en haut d'épaississeur est diluée avec de l'eau de filtration. La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre. Ensuite, les MES sont analysées grâce à la méthode décrite ci-après.

❖ **Mode opératoire pour la détermination de MES**

Tout d'abord, les filtres sont conditionnés, c'est-à-dire que nous filtrons 30 ml d'eau distillée sur un filtre propre que nous plaçons ensuite à l'étuve à 105°C pendant 2 heures. À la sortie de l'étuve, les filtres sont placés au dessiccateur pendant 30 minutes pour stabiliser leurs masses. Après cela, ils sont pesés pour obtenir la masse m_0. Un volume mesuré est filtré sur le banc. Une fois la filtration complète, le filtre est récupéré et mis à l'étuve pendant 2 heures. Il est ensuite de nouveau mis au dessiccateur pendant 30 min et enfin pesé pour avoir la masse m_1.

Il est ensuite possible de calculer les MES présents dans l'échantillon. C'est la masse de particules déposées sur le filtre en tenant compte du volume filtré :

$$MES = \frac{m_1 - m_0}{V} * 1000$$

Avec : MES, les matières en suspension en mg/L

m_0, la masse initiale du filtre en mg

m_1, la masse finale après séchage à 105°C en mg

Et V, le volume de l'échantillon à filtrer en ml

Les résultats obtenus sont représentés sur la courbe ci-dessous :

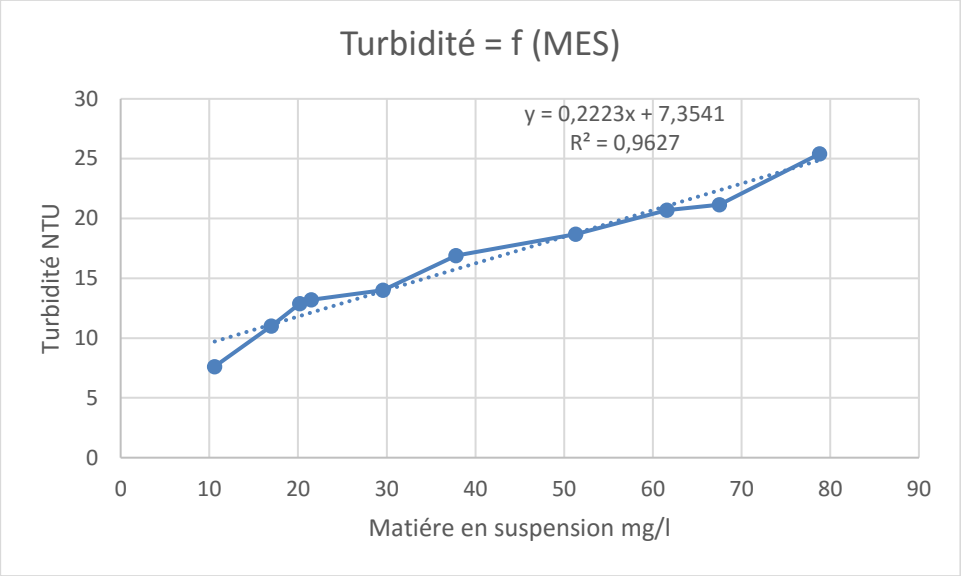


Figure 13 : Turbidité de l'eau de surverse en fonction de la MES

L'équation de droite :

$$\textbf{Turbidité} = 0{,}2223 * [\textbf{MES}] + 7{,}3541$$

$$[\textbf{MES}] = \frac{[\textbf{Turbidité}] - 7.3541}{0.2223}$$

À la base de cette équation nous pouvons déterminer la valeur de MES en mg/l par une simple mesure de la turbidité.

3. Densité de la pulpe (taux de solide)

Cette densité permet de remonter à la teneur des particules solide dans la pulpe.

N.B : En cas d'augmentation il faut Augmenter la vitesse de soutirage de la pulpe, Maintenir une alimentation de l'eau et Arrêter l'alimentation de pulpe ainsi que de floculant.

En cas de diminution il faut Diminuer la vitesse de soutirage de la pulpe, recyclage vers le bas d'épaississeur et alimenter en continu la pulpe et le floculant (simple alimentation).

V. Conclusion

Une des outils de performance très efficace, l'analyse fonctionnelle du système d'épaississement nous a permis de bien comprendre cette chaine du procédé en termes de nécessité d'installation ainsi que les fonctions à remplir par cette dernière.

L'application des résultats que nous avons trouvés au niveau de la floculation permet de gérer à mieux l'étape de floculation de la pulpe Et donc agir sur l'ensemble du système.

Ainsi que nous avons trouvé une formule reliant les matières en suspension avec la turbidité, ce qui rend facile la détermination des matières en suspension par un simple calcul de la turbidité

CHAPITRE IV :

Modélisation de l'épaississement de la pulpe par l'application d'un plan d'expérience

Résumé

Cette partie vise à réaliser des essais à l'échelle laboratoire afin de poursuivre les étapes pour arriver à l'objectif planifier, par définition d'un modèle mathématique permettant un contrôle des réponses étudier concernant la qualité de pulpe étudié

I. Introduction

Le présent travail a été mis en place afin de maîtriser les différents paramètres de sorties de surverse sans oublier aussi le sou-verse, en les modérant le plus possible par variation des paramètres principaux d'entrée.

Cette partie consiste en plusieurs taches au niveau de laboratoire local, y compris :

- Essais « Jar-test » avec différents types de floculant
- Essais préliminaires de sédimentation en éprouvette pour les floculants choisis
- Mise en place de plans d'expériences.
    - Plan de criblage
    - Plan de surface

II. Partie expérimentale

1. Essais Jar-test

Avant d'entreprendre le Jar-test, des mesures de densité et de taux de solide doivent être effectuées sur la pulpe.

Ceci permet d'avoir une idée sur le volume du floculant à injecter après des calculs à effectuer. **ANNEXE 1**

❖ *Mode opératoire*

On prépare 6 béchers d'un litre de pulpe avec un taux de solide de 10%. On Ajoute les mêmes doses de floculant en même temps dans les 5 béchers sous agitation très lente pendant 3min pour assurer l'homogénéité entre le floculant et la pulpe. Après on laisse décanter dans des éprouvettes en visualisant la sédimentation à l'œil nue. (Figure 14)

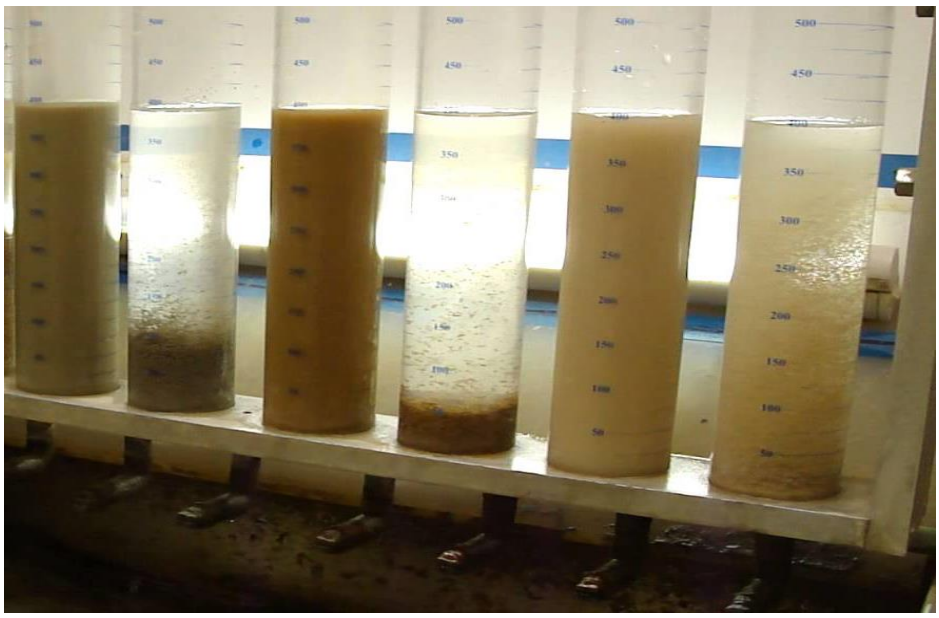


Figure 14 : Essais jar-test pour 5 types de floculant

On constate sur les cinq floculants seuls trois donnent de bons résultats : AN923, AN323 et PHOS34

2. Essais préliminaires

Les essais effectués par jar-test ce n'était qu'une initiative, d'une part pour observer le phénomène de sédimentation, et d'autre part pour atteindre l'objectif ciblé, c'est de choisir les 3 meilleurs types de floculant les mieux adoptés pour une bonne sédimentation, dont on va faire un suivi de décantation naturelle d'un échantillon de pulpe, du coup pour une consommation spécifique fixe de floculant on va réaliser des essais pour des différentes concentrations.

Nous avons effectué le suivi durant plus de 3 heures des interfaces séparant les différentes zones présentées lors de l'étude de la théorie de KYNCH.

Les expériences retenues sont au nombre de 10 et sont présentées dans la figure 15 ci-dessous :

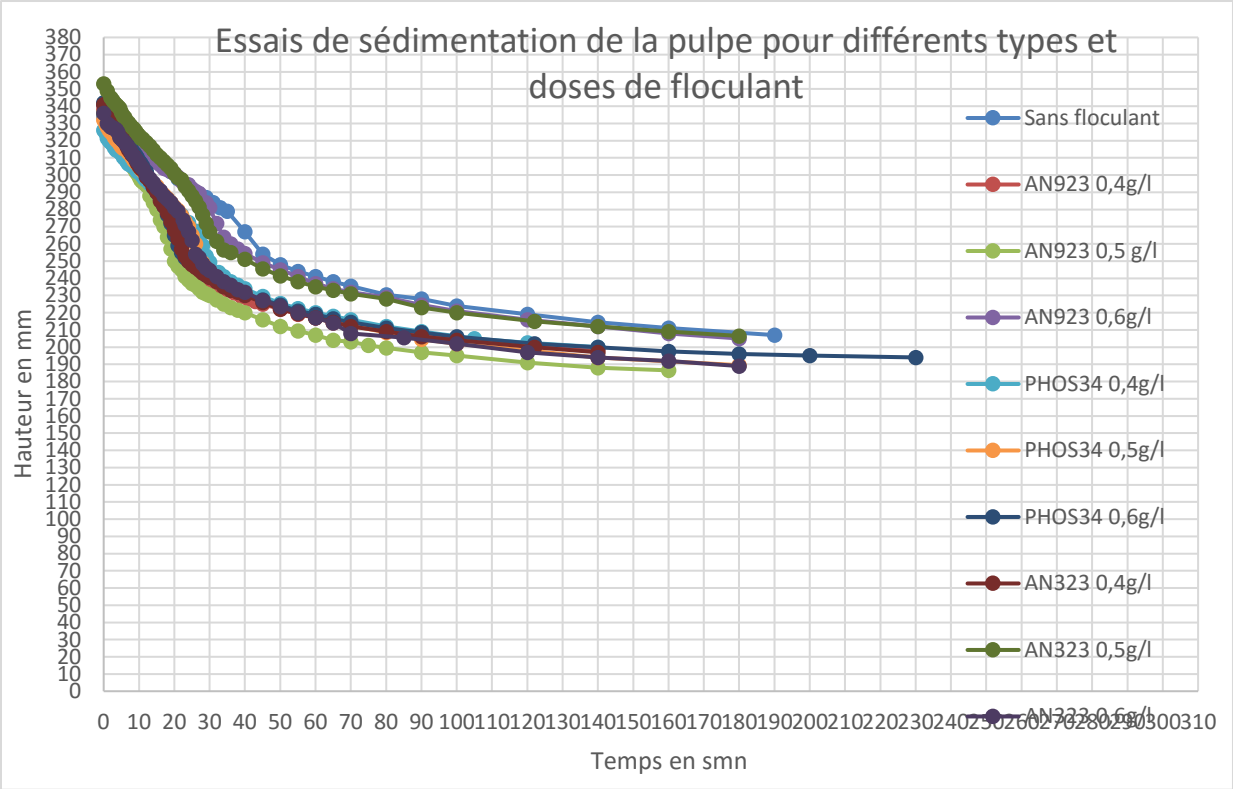


Figure 15 : Courbes de sédimentation pour les différents types de floculant

❖ *Interprétation des résultats*

Après avoir réalisé cette expérience, nous avons fait les observations suivantes :

Avant l'ajout du floculant :

- La décantation naturelle est un phénomène très lent qui peut nécessiter jusqu'à plusieurs jours pour se terminer.
- La distinction des différentes zones étudiées lors de la partie théorique à travers la théorie de KYNCH est très difficile, surtout en ce qui concerne la différenciation entre les zones b et c.

Après l'ajout des concentrations précise de floculant :

- La réalisation de ces essais nous a permis de faire les constats suivants :
- La décantation avec floculant est nettement plus rapide que la décantation naturelle.
- On a observé la formation des premiers « flocs » après seulement 1minutes.

- La distinction entre les zone b et c étudiées durant la partie théorique est toujours très difficile.

- Le floculant a été injecté après une dilution d'un taux de solide calculé à l'éprouvette, son action a été remarquable.

3. Mise en place d'un plan d'expérience : plan de criblage

L'établissement d'un plan d'expérience passe par les étapes suivantes :

❖ *Définition de l'objectif de l'étude :*

L'étude faite pour objectif, d'évaluer l'impact de chaque paramètre sur les réponses mesuré, ainsi que la mise au point d'une formule, qui correspond à son optimisation et constitue souvent l'étape suivante.

❖ *Description des éléments sur lesquels va porter l'expérimentation :*

Les facteurs étudiés sont à la base de 5 : type de floculant, consommation spécifique, concentrations taux de solide d'entrée et la teneur des fines particules

❖ *Choix de la réponse permettant d'atteindre l'objectif :*

Le choix des réponses est lié au principe d'utilisation du système étudier, vu que lors d'un épaississement on constate deux objectifs à atteindre, c'est la clarification d'eau de sur verse et l'élévation du pourcentage de solide de sou-verse

❖ *Définition des niveaux de chaque facteur*

Les niveaux de ces paramètres sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Description des facteurs

Nom (Référence)	**Types de floculant (1)**	**Consommation spécifique du floculant (2)**	**Concentration volumique de floculant (3)**	**Taux de solide d'entrée (4)**	**Teneur des fines particules <40 µm (5)**
Unité		g/t	g/l	%	%
Niveau 1	AN923	25	0,4	[8;12]	[18;24]

Niveau 2	PHOS34	30	0,5	[18;22]	[24;30]
Niveau 3	AN323	35	0,6	[28;32]	[30;40]

❖ *Expérience à réaliser pour un plan de criblage*

Pour faire cela, nous avons pris un litre de pulpe d'un taux de solide bien définis sur lequelle nous avons ajouté une quantité de floculant préalablement calculée. **ANNEXE 1**

Lors de l'expérience on mesure premièrement la densité d'un litre de pulpe versé dans l'éprouvette, afin d'effectuer un calcul pour s'assurer de la conformité du taux de solide, dont on veut travailler lié à la quantité des particules fines **ANNEXE 2** qu'on doit rajouter pour atteindre l'intervalle demander. Dans le but de respecter la précision des essais à faire pour avoir une efficacité sur les résultats à faire entrer dans le logiciel.

Au bout de 3 heures nous avons récupéré le volume de l'eau surnagent et nous avons déterminé la turbidité de ce dernier ainsi que la densité de sou-verse. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5.

N.B : puisqu'on travaille pour des densités d'entrée variable, la réponse densité sortie va être sans aucun sens donc pour mieux représenté le système on va considérer cette réponse le rapport entre la sortie et l'entrée.

Tableau 5 : plan d'expérimentation et résultats obtenus pour le plan de criblage

N°Exp	Type de floculant	C_S	$[C]_{volumique}$	T_S	$\%_{fines}$	Densité sortie	Turbidité
		g/T	g/l	%	%	Kg/m3	NTU
1	AN923	30	0.5	[28 ;32]	[24 ;30]	92.20	7.45
2	AN323	25	0.5	[18 ;22]	[30 ;40]	84.90	13.00
3	AN323	35	0.4	[18 ;22]	[24 ;30]	89.30	4.24
4	PHOS34	35	0.6	[8 ;12]	[24 ;30]	83.50	5.63
5	AN323	30	0.6	[28 ;32]	[18 ;24]	87.32	12.10
6	PHOS34	35	0.5	[28 ;32]	[30 ;40]	84.65	22.50
7	PHOS34	30	0.6	[18 ;22]	[30 ;40]	86.70	18.65
8	PHOS34	30	0.5	[18 ;22]	[24 ;30]	90.70	11.90
9	AN323	30	0.5	[8 ;12]	[24 ;30]	82.90	2.28

10	AN923	35	0.5	[18 ;22]	[18 ;24]	91.30	5.16
11	AN923	25	0.6	[18 ;22]	[24 ;30]	90.30	6.17
12	PHOS34	25	0.4	[28 ;32]	[24 ;30]	85.70	13.24
13	AN923	30	0.4	[8 ;12]	[30 ;40]	88.70	11.75
14	PHOS34	25	0.5	[8 ;12]	[18 ;24]	79.50	6.26
15	PHOS34	30	0.4	[18 ;22]	[18 ;24]	92.20	4.32
16	PHOS34	30	0.5	[18 ;22]	[24 ;30]	91.60	11.50

Résultat et interprétations pour la réponse densité sortie :

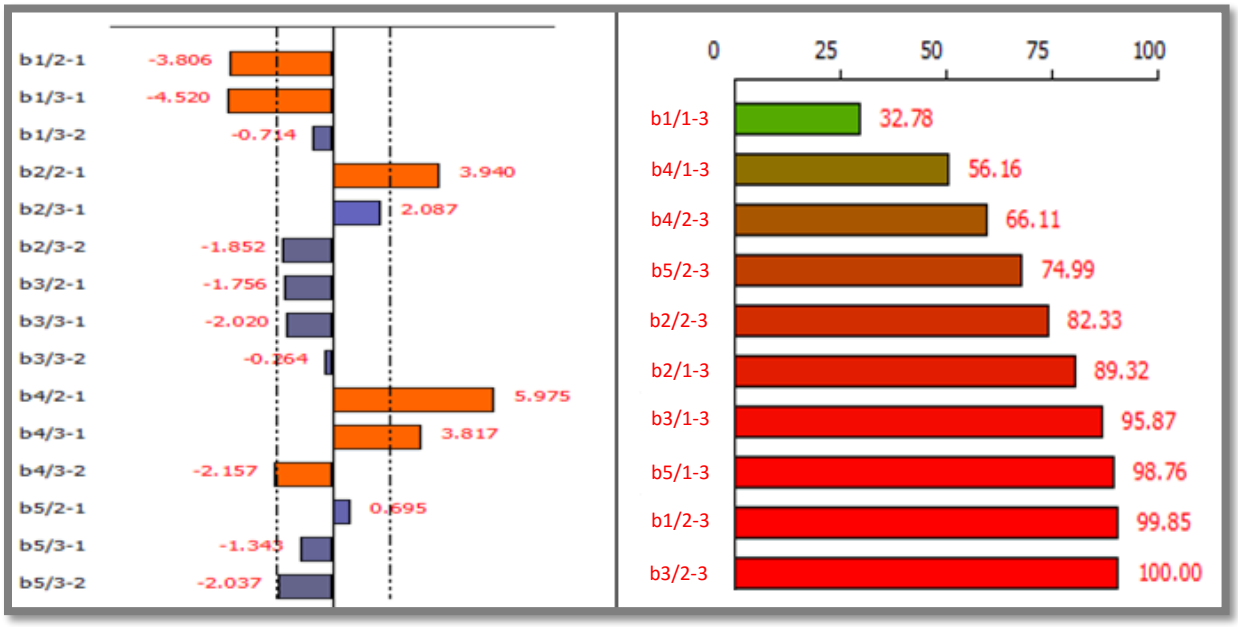


Figure 16 : Etude graphique des effets et diagramme de Pareto cumulé pour la réponse densité sortie

L'interprétation graphique (figure 16) est particulièrement utile. En abscisse sont reportées les valeurs algébriques des estimations des coefficients.

La première interprétation concerne les effets de passage d'un niveau à un autre niveau pour chacun des facteurs, prenant le facteur type de floculant, le passage du niveau 1 au niveau 2 influence négativement sur la densité sortie de même pour le passage de niveau 2 au niveau 3 et ainsi de suite pour le reste des facteurs.

La seconde concerne l'influence des différents facteurs sur la réponse : il apparaît que les effets de la concentration de floculant sont beaucoup moins dispersés que ceux de taux de solide d'entrée

D’après le graphe de Pareto cumulés, on peut dire que les paramètres qui influence à 82,33% la variable de réponse sont : le type de floculant plus exactement le passage de niveau 1 au niveau 3, le taux de solide d’entrée (les deux passages), le taux des fines (passage de niveau 2 au niveau 3) et la consommation spécifique de floculant (passage de niveau 2 au niveau 3)

Résultat et interprétations pour la réponse turbidité :

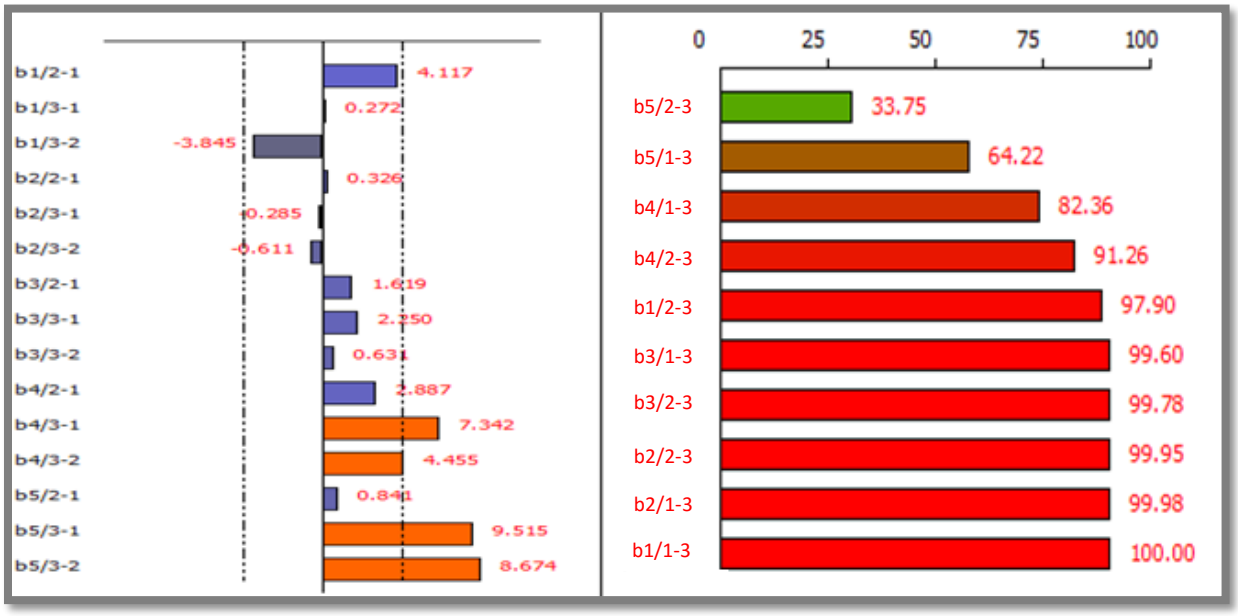


Figure 17 : Etude graphique des effets et diagramme de Pareto cumulé pour la réponse turbidité

Pour le facteur type de floculant, le passage du niveau 1 au niveau 2 influence positivement sur la turbidité de même pour le passage de niveau 2 au niveau 3 et ainsi de suite pour le reste des facteurs.

Pour l’influence des différents facteurs sur la réponse : il apparaît que les effets de la concentration de floculant sont beaucoup moins dispersés que ceux de type du floculant.

D’après le graphe de Pareto cumulés, on peut dire que les paramètres qui influence à 82,36% la variable de réponse sont : le taux des fines (les deux passages) et le taux de solide d’entrée (passage de niveau 1 au niveau 3)

4. Optimisation par les plans de surface

Les niveaux des paramètres sont regroupés dans le tableau 6 suivant :

Tableau 6 : Description des paramètres pour le plan de surface

	Taux des fines [T_f]	Consommation spécifique [C_S]	Taux de solide [T_S]
Niveau bas	20	25	10
Centre	30	30	20
Niveau haut	40	35	30
Pas	10	5	10

❖ Plan d'expérimentation

Tableau 7 : plan d'expérimentation et résultats obtenus pour le plan de surface

N°Exp	Taux des fines	Consommation spécifique	Ts d'entrée	Densité sortie	Turbidité
	%	g/t	%	%	NTU
1	20	25	20.0	88.30	15.60
2	40	25	20.0	80.75	20.50
3	20	35	20.0	92.30	12.63
4	40	35	20.0	86.20	14.52
5	20	30	10.0	91.70	7.90
6	40	30	10.0	83.20	17.40
7	20	30	30.0	91.00	10.11
8	40	30	30.0	83.95	18.10
9	30	25	10.0	86.73	16.60
10	30	35	10.0	89.40	12.82
11	30	25	30.0	88.78	15.20
12	30	35	30.0	88.95	14.00
13	30	30	20.0	88.60	15.00
14	30	30	20.0	88.83	14.30
15	30	30	20.0	89.20	13.75

❖ Modèle et validation pour la réponse « densité sortie »

Modèle :

$$\text{Densité sortie} = 88.877 - 3{,}650\,[T_f] + 1{,}536\,[C_S] + 0{,}206\,[T_S] - 1{,}496\,[T_f]^2 - 0{,}493\,[C_S]^2 + 0{,}082\,[T_S]^2 + 0{,}363\,[T_f]\,[C_S] + 0{,}363\,[C_S]\,[T_S] - 0{,}625\,[T_f]\,[T_S]$$

validité du modèle :

Pour la validité du modèle, il faut vérifier les 4 conditions suivantes (Tests) :

Tableau 8 : condition pour la validation d'un modèle

L'analyse de la variance ANOVA	ANOVA 1 < 5% ANOVA2 > 5%
Le coefficient de détermination R^2	$R^2 > 0,8$
Le coefficient de détermination Rajs²	$R^2ajs > 0,7$
L'analyse de la normalité des résidus	Une distribution aléatoire normale des points ou bien la droite d'Henry bien alignée

- *L'analyse de la variance ANOVA*

Tableau 9 : les différents paramètres pour l'analyse de la variance pour la réponse densité sortie

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	137.3946	9	15.2661	166.5994	< 0.729
Résidus	6.3963	5	1.2793		
Validité	6.2131	3	2.0710	22.6012	6.9
Erreur	0.1833	2	0.0916		
Total	143.7909	14			

Le tableau montre que le modèle postulé est validé et il permet de décrire le phénomène.

- *Les coefficients R^2 et R^2_{aj}*

Les valeurs des coefficients de détermination et de détermination ajusté $\mathbf{R^2 = 0.956}$ et $\mathbf{R^2_{aj} = 0,875}$ vérifie les conditions de validité, donc ils confirment les résultats de l'analyse de variance.

- *L'analyse de la normalité des résidus*

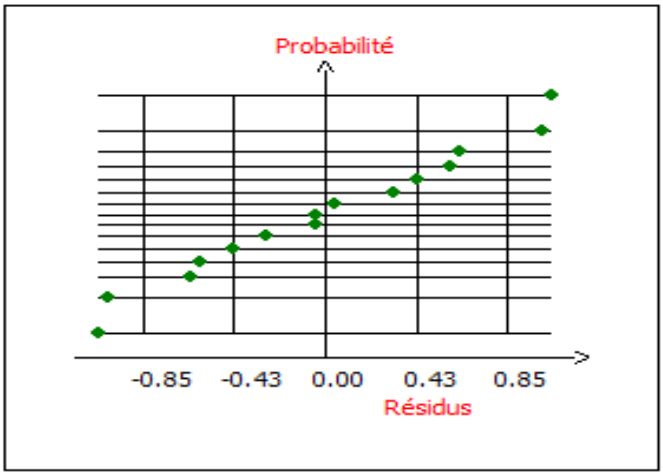


Figure 18 : Distribution des résidus pour la réponse densité sortie

Le graphe des résidus montre clairement que les résidus sont distribués normalement et par la suite il suit la loi normale.

➡ D'après la vérification des 4 conditions, il parait que **le modèle choisi est valide**, donc on peut l'utilisé pour décrire le phénomène. L'exploitation du modèle mathématique à priori ; livrer plusieurs solutions comme le montre la figure ci-dessous.

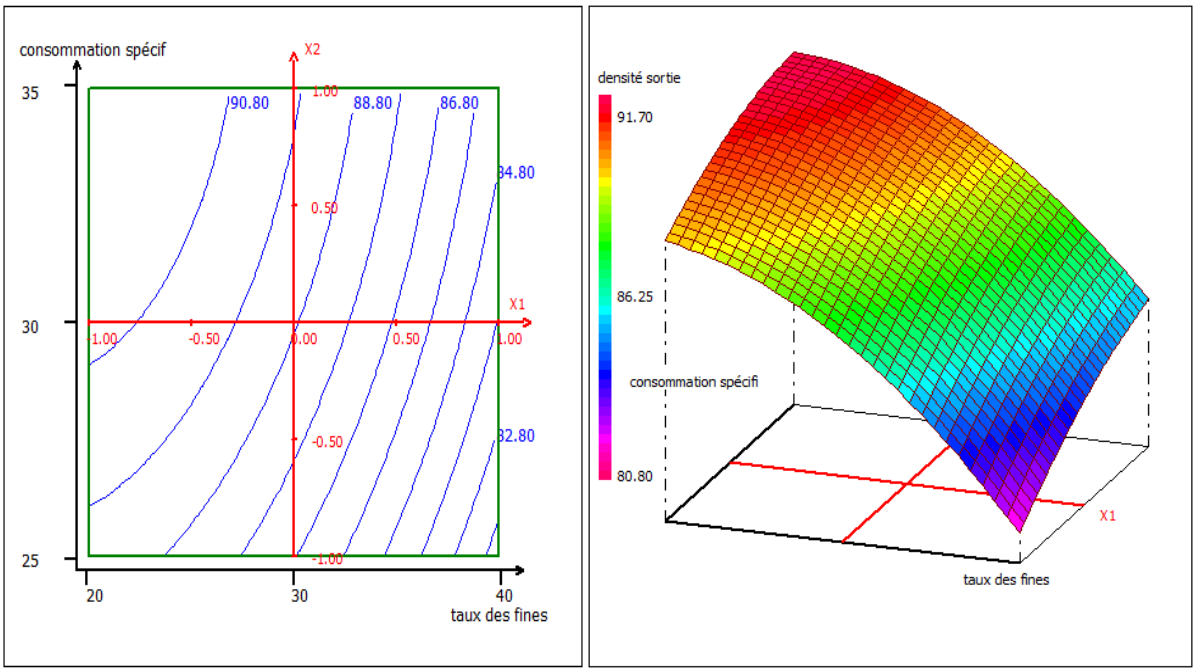


Figure 19 : Présentation graphique de l'optimum en 2D et 3D

❖ Modèle et validation pour la réponse « turbidité »

<u>Modèle</u> :

$$\text{Turbidité} = 14{,}350 + 3.035\,[T_f] - 1.741\,[C_S] + 0{,}336\,[T_S] + 0{,}092\,[T_f]^2 + 1{,}37\,[C_S]^2 - 1{,}065\,[T_S]^2 - 0{,}753\,[T_f]\,[C_S] - 0{,}377\,[C_S]\,[T_S + 0{,}645\,[T_f]\,[T_S]$$

validité du modèle :

- *L'analyse de la variance ANOVA*

Tableau 10 : les différents paramètres pour l'analyse de la variance pour la réponse turbidité

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	115.3857	9	12.8206	3.5046	9.0
Résidus	18.2910	5	3.6582		
Validité	17.5060	3	5.8353	14.8671	6.4
Erreur	0.7850	2	0.3925		
Total	133.6766	14			

Le tableau montre que le modèle postulé est invalide et il ne permet pas de décrire le phénomène.

- *Les coefficients R^2 et R^2_{ajs}*

Les valeurs des coefficients de détermination et de détermination ajusté $\mathbf{R^2 = 0.863}$ et $\mathbf{R^2_{ajs} = 0{,}617}$ ne vérifie pas les conditions de validité, donc ils confirment les résultats de l'analyse de variance.

- *L'analyse de la normalité des résidus*

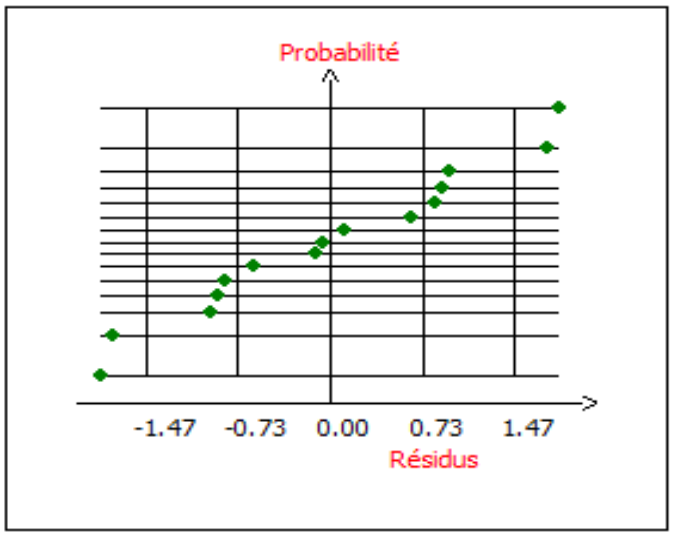


Figure 20 : distribution des résidus pour la réponse turbidité

Le graphe des résidus montre clairement que les résidus ne sont pas distribués normalement et par la suite il ne suit pas la loi normale.

➡ D'après la vérification des 4 conditions, il parait que **le modèle choisi est invalide**, on ne peut pas l'utilisé puisqu'il est incapable de décrire le phénomène ; donc Il faut postuler un autre modèle ou bien peut être l'intervalle choisi surtout pour le facteur taux des fines est grand.

5. Conclusion

Les résultats trouvés par l'application d'un plan de criblage montrent que les facteurs qui ont une influence sur les réponses sont :

- Type de floculant et plus exactement le changement du floculant AN923 par PHOS34
- Taux des fines pour les deux passages du niveau 1 au niveau 3 et le passage de niveau 2 au niveau 3
- La concentration du floculant en particulier l'augmentation de cette concentration d'une valeur de 0,5g/l à une valeur de 0,6g/l
- Taux de solide d'entrée pour les deux passages du niveau 1 au niveau 3 et le passage de niveau 2 au niveau 3

Les résultats trouvés par application d'un plan de surface permettent une amélioration du mode de traitement de la pulpe, de fait que quel que soit la qualité de pulpe à épaissir, un modèle postulé facilite le mode de traitement de cette dernière. Mais on n'a pas pu validé les deux modèles, seul le modèle trouvé pour la réponse densité sortie qui est valide.

CHAPITRE V :

Application des standards de sécurité

Résumé

La sécurité, valeur intrinsèque du Groupe OCP. Dance cette vision, on analysera les risques aux postes de travail « ADRPT » selon le standard OCP au niveau de l'unité de réception et d'épaississement de la pulpe de phosphate à JFC2 afin d'établir un plan d'action pour les risques significatifs.

I. Introduction

La sécurité, est une valeur intrinsèque du Groupe OCP, dont l'objectif est d'instaurer une culture sécurité lors de l'exploitation des nouvelles unités du Groupe OCP.

Atteindre l'objectif « Zéro accident » est un long parcours nécessitant une réflexion approfondie en amont en vue de déceler les différents risques majeurs pouvant donner lieu à des accidents potentiels.

De ce fait, on s'ingénie dans cette partie au déploiement du standard « ADRPT ». Il s'agit d'un processus structuré ayant pour vocation l'identification des dangers, l'évaluation des risques et la mise en œuvre des mesures de maîtrise nécessaires.

Notre démarche se schématise selon le processus suivant :

Figure 21 : Analyse et identification des risques

II. Identification des activités

Un pré requis essentiel de l'analyse des risques est l'identification rigoureuse et exhaustive des différentes activités liées à l'unité d'épaississement.

L'identification des activités est accompagnée par l'identification des produits et substances mis en œuvre. Le tableau 11 présente les résultats obtenus :

Tableau 11 : identification des activités et produits mis en œuvre

N° référence	Description de l'activité	Produits mis en œuvre
1	Surveillance, interventions et démarrage de l'installation	Eau, pulpe, floculant
2	Nettoyage de l'unité	Eau, pulpe, floculant
3	Nettoyage du bac de réception et de l'épaississeur	Eau, pulpe
4	Prise d'échantillon	Eau, pulpe, floculant
5	Remplissage, démarrage et surveillance de la station de floculation	Floculant

III. Identification des dangers et des risques

Pour chaque activité identifiée, nous avons réalisé une identification exhaustive des dangers en se basant sur la liste des dangers proposée par le standard. Cette étape a impliqué la participation d'équipe suivantes :

- Opérateur du chantier Epaississement ;
- Chef d'équipe Epaississement & Attaque-Filtration ;
- Chef d'atelier Epaississement & Attaque-Filtration ;
- Représentant du service JFC2/QSE ;
- Membres du CHSE de l'atelier phosphorique.

Au demeurant, nous avons tenu compte lors de l'identification des dangers du mode de marche des activités (mode normal, mode incident, ou mode dégradé).

Une fois les dangers sont identifiés, nous avons déterminé les risques qui leur sont associés par la recherche des situations dangereuses. Ceci est effectué en s'appuyant sur :

- La fiche des dangers proposée par le standard ;
- La FDS de certains produits mis en œuvre (Floculant).

IV. Evaluation des risques

On entend par évaluation d'un risque, le fait de lui attribuer des critères d'importance, ce qui permet de classer les risques. Pour cette évaluation, il faut prendre en compte pour chaque risque les critères fixés pour l'ensemble des ateliers et services, en fonction de :

- La gravité (G) du dommage corporel ;
- La probabilité d'occurrence ou fréquence (F) de survenance de dommage ;
- La durée d'exposition (E) aux risques identifiés.

Les échelles utilisées sont :

Tableau 12 : Evaluation par niveau de fréquence

Niveau	Définition	Fréquence
1	Exceptionnel	Moins d'une fois sur 3 ans
2	Rare	1 fois / 3 ans
3	Occasionnel	1 fois / An
4	Fréquent	1 fois / Trimestre
5	Très fréquent	1 fois / mois

Tableau 13 : Evaluation par niveau de gravité du dommage sur le personnel

Niveau	Définition	Gravité du dommage sur le personnel
1	Mineure	Blessure bénigne sans arrêt de travail
2	Significative	Dommage réversible avec arrêt de travail inférieur à 21 jours
3	Sévère	Dommage réversible avec arrêt de travail supérieur ou égal à 21 jours
4	Critique	Dommage irréversible
5	Catastrophique	Mort possible

Tableau 14 : Evaluation par niveau d'exposition

Niveau	Définition	Durée/fréquence (Ratio en % de temps de travail sur une base de « 8 » heures)
1	Rare	E < 5%
2	Inhabituelle	5% < E < 15%
3	Occasionnelle	15% < E < 30%
4	Fréquente	30% < E < 60%
5	Très fréquente	60% < E

La criticité (C) est le produit des trois critères (G x F x E), permettant la classification et la priorisation des risques. En fonction des valeurs de criticité (C) obtenues, nous avons identifié les risques critiques qui répondent à au moins une des conditions suivantes :

- Gravité supérieure ou égale à 4 ;
- Criticité C = G x F x E supérieure ou égale à 27.

La liste des risques critiques identifiés est présentée dans l'annexe 3

V. Evaluation de maîtrise des risques

Nous venons de voir que l'identification des dangers et l'évaluation des risques précise qu'il faut mettre en œuvre des mesures de contrôle nécessaires.

Logiquement, il est nécessaire d'effectuer une évaluation de la maîtrise de chaque risque critique par rapport à l'ensemble des moyens techniques, humains et organisationnels, visant à assurer la prévention, la protection et la limitation dans l'espace et dans le temps.

Cette évaluation a pour fin de vérifier si les moyens de prévention, de protection et de limitation existants (Techniques, organisationnels, et humains), sont suffisants, adaptés et efficaces, pour statuer sur le besoin de leur amélioration ou non.

Finalement, nous avons retenu une liste des risques critiques jugés non maitrisés ayant

- Un niveau de maitrise opérationnelle inférieur ou égal à 9 au total ;
- Résultats par rubrique THO est inférieur à la moyenne.

Tableau 15 : Risques critiques non maîtrisés

Référence du risque	Description des risques et modalités d'exposition	Niveau de Maîtrise (total)
1-1	Chute en hauteur	9
1-5	Destructions locales ou généralisées	9
2-15	Destructions local ou généralisées	9
5-3	Glissage	9

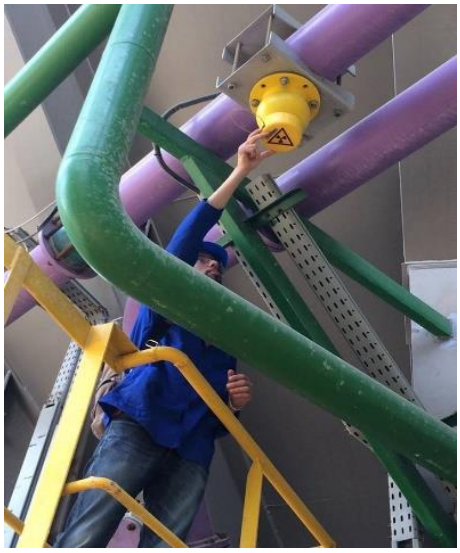
Le résultat de cette évaluation est enregistré sur le formulaire en **ANNEXE 4**

VI. Elaboration du plan d'action d'amélioration de la maîtrise

Un risque non maîtrisé doit impérativement faire l'objet d'un ensemble des actions et mesures visant à améliorer sa maîtrise. Pour les activités identifiées comme présentant un risque critique et jugées non maîtrisées, nous avons élaboré un plan d'action d'amélioration de la maîtrise.

Le tableau suivant résume l'ensemble des actions issues de l'analyse des risques.

Tableau 17 : Plan d'actions d'amélioration de la maîtrise des risques

Risque	Actions	Observations
Chute en hauteur lors du démarrage, surveillance ou intervention	Mise en place des accès aux vannes en hauteur et réglage d'un problème au niveau du caillebotis de la passerelle d'épaississeur (comme le montre l'illustration)	
Destructions cellulaires locales ou généralisées lors du démarrage, surveillance ou intervention et nettoyage de l'unité	Elaboration d'une procédure définissant les modalités d'action en cas de dépassement de la valeur admissible des émissions	
Glissage lors du Remplissage, Démarrage et surveillance de la station de floculation et autour de cette station	La mise en place des signes indicatrice ou la mise en place des caillebotis aux alentours de la station de floculation	

VII. Conclusion

La sécurité a trouvé sa place dans notre plan d'action. Une évaluation rigoureuse des risques potentiels permettra de donner lieu des actions de maîtrise afin d'atteindre le « Zéro accident ».

La majorité des risques identifiés est due aux manques d'infrastructures pour l'accès aux équipements se trouvant en hauteur.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude au sein du groupe OCP, JORF FERTILIZER COMPANY2, nous a permis pendant quatre mois de stage d'établir une analyse fonctionnelle afin de maîtriser la chaine de l'épaississement de la pulpe. Aussi, de mener une étude expérimentale pour différentes qualités de pulpe sur le phénomène de sédimentation et leurs impacts sur les produits de sous verse et de surverse, afin de proposer des solutions dans le but d'optimiser la marche du procédé et d'améliorer les performances de la ligne d'épaississement de la pulpe.

L'analyse fonctionnelle de l'unité d'épaississement de l'atelier phosphorique permet de conclure que l'épaississement est influencé par plusieurs paramètres à savoir : le type de floculant, la consommation spécifique de floculant, la concentration de floculant, le taux de solide d'entrée (taux de dilution de la pulpe à l'entrée) et la teneur des particules fines (<40µm). Pour évaluer la part de chaque paramètre sur la densité de sortie et la turbidité, on a modélisé le procédé par la méthode du plan d'expériences, en fin de compte cette méthode nous a permet de donner un modèle pour chaque réponse, mais c'est pour la réponse densité sortie qu'on a eu un modèle qui est valide :

$$\textbf{Densité sortie} = 88.877 - 3{,}650\,[T_f] + 1{,}536\,[C_S] + 0{,}206\,[T_S] - 1{,}496\,[T_f]^2 - 0{,}493\,[C_S]^2 + 0{,}082\,[T_S]^2 + 0{,}363\,[T_f]\,[C_S] + 0{,}363\,[C_S]\,[T_S] - 0{,}625\,[T_f]\,[T_S]$$

Nous avons quand même poussée notre étude sur le côté hygiène sécurité une analyse rigoureuse nous a permis de constater que La majorité des risques est due aux manques d'infrastructures pour l'accès aux équipements se trouvant en hauteur.

Nous recommandons que cette étude soit refaite par la suite en réduisant l'intervalle de la teneur des particules fines pour pouvoir validé le modèle de la réponse turbidité eau clarifié.

REFERENCES

[1] JACOBS ENGINEERING S.A., Manuel d'exploitation de la ligne E, 2013.

[2] Techniques d'Ingénieurs, CTDI4 ; Pierre Blazy, El Aïd Jdid, Jean Luc Bersillon ; j ; j3450, P 5,6,7

[3] Thèse de Sandrine Karam, application de la méthodologie des plans d'expérience et de l'analyse de données à l'optimisation des processus de dépôt, 2004, P 112.

[4] La Méthode APTE® d'Analyse de la Valeur et Analyse Fonctionnelle de Bertrand de la Bretesche -Parution 2000 - Éditions Petrelle.

[5] NORME FRANÇAISE NF X 50-151 de décembre 1991 : "Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle, Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel"

[6] Exprimer le besoin - Applications de la démarche Fonctionnelle - A.F.A.V/ A.F.N.O.R. / 1989 Collection « AFNOR GESTION »

ANNEXES

ANNEXE 1

- ***Relation entre TS et la densité de la pulpe***

On pose la masse de pulpe $M_p = M_s + M_e$ ⇒ $M_e = M_p - M_s$ (1)

Et le volume de la pulpe $V_p = V_s + V_e$ ⇒ $\frac{M_p}{D_p} = \frac{M_s}{D_s} + \frac{M_e}{D_e}$ (2)

Avec :

M_P = masse de la pulpe — D_p = Densité de la pulpe

M_S = masse du solide sec — D_S = Densité du solide sec

M_e = masse de l'eau — D_e = Densité de l'eau

Remplaçant (1) dans (2) :

$$\frac{M_p}{D_p} = \frac{M_s}{D_s} + \frac{M_p - M_s}{D_e}$$

$$\frac{M_p}{D_p} = \frac{M_s}{D_s} + \frac{M_p}{D_e} - \frac{M_s}{D_e}$$

$$\frac{M_p}{D_p} - \frac{M_p}{D_e} = \frac{M_s}{D_s} - \frac{M_s}{D_e}$$

$$M_p \left(\frac{1}{D_p} - \frac{1}{D_e}\right) = M_s \left(\frac{1}{D_s} - \frac{1}{D_e}\right)$$

Donc $T_s = \frac{M_s}{M_p} = \frac{D_s \,.\, (D_p - D_e)}{D_p \,.\, (D_s - D_e)}$

A.N: $T_s = \frac{2{,}85 \,.\, (D_p - 1)}{D_p \,.\, (2{,}85 - 1)}$ ⇒ $1.85 \,.\, D_p \,.\, T_s = 2{,}85.\, D_p - 2{,}85$

$D_p\,(2{,}85 - 1{,}85.\, T_s) = 2{,}85$ ⇒ $D_p = \frac{2{,}85}{2{,}85 - 1{,}85\,.T_s}$ ⇒ $\mathbf{D_p = \frac{2{,}85}{2{,}85 - 1{,}85\,.T_s}}$

- ***Méthode de détermination du volume de floculant à injecter :***

Pour une bonne maitrise de la quantité de floculant à injecter on calcule le volume de ce dernier, en se basant sur la concentration [g/l] et la consommation spécifique du floculant (g/t) qui sont des paramètres déjà connus.

En ce qui concerne la consommation spécifique c'est la masse de floculant par tonne de phosphate sec, donc quel que soit la quantité de phosphate sec à traité on peut déterminer la masse de floculant M_f nécessaire par un simple calcule :

$$\mathbf{M_f} = \frac{\mathbf{Ts} * \mathbf{Mp} * \mathbf{Cs}}{\mathbf{10^6}}$$

Et alors pour une concentration [g/l] connus, on peut déterminer le volume de floculant à ajouter par la formule suivante :

$$\boldsymbol{Volume\ de\ floculant}\ \text{à}\ \boldsymbol{ajouter} = \frac{\mathbf{Masse\ de\ floculant(g)}}{\mathbf{Concentration}} = \frac{\mathbf{Ts} * \mathbf{Mp} * \mathbf{Cs}}{[\ \mathbf{C}\ ] * \mathbf{10^6}}$$

Avec :

T_S = Taux de solide (%),

M_P = Masse de la pulpe (g),

[C]= Concentration du floculant (g/l)

C_s = Consommation spécifique du floculant (g/l)

ANNEXE 2

- ***Méthode de calcul de la masse des particules fines à ajouter***

Dans un premier temps on fait la mesure de la densité, par le peser de la masse de pulpe versée dans une éprouvette d'un litre.

On aura alors M_p (masse de pulpe), ce qui nous facilite le calcul de la densité ainsi que le taux de solide de cette pulpe d'après la formule indiqué ci-dessus,

Masse de pulpe (M_P) ⟶ Densité (D_P) ⟶ $Taux\ de\ solide\ \ T_S = \frac{Dp-1}{0.65*Dp}$

Lorsqu'on détermine le T_S, ça nous facilite le calcul de la masse de solide initiale Ms_i :

$$\mathbf{Ms_i = M_P * T_S}$$

Avec :

T_S = Taux de solide (%),

M_P = Masse de la pulpe (g),

Ms_i = masse de solide initiale dans la pulpe

Une analyse granulométrique de la pulpe à traiter nous a permis de déterminer le pourcentage des particules fines (<40µm) présentent dans cette pulpe, %fine = 23.17%, donc on peut déduire la masse de la tranche des particules supérieure à 40µm

$$\mathbf{M_{S\ (gros)} = Ms_i - 0.2317 * Ms_i}$$

Ensuite on mesure la masse finale du solide (Ms_f) par la relation suivante :

$$Ms_f = \frac{\text{Ms (gros)}}{1 - (\%\ \text{des particules fines désiré})}$$

Et finalement on trouve la masse des fines particules à ajouter :

$$\mathbf{M_{fines\ à\ ajouter} = Ms_f - Ms_i}$$

N° ou référence	Activité	Produit mis en œuvre	Nature des dangers	Mode (1)	Description des risques et processus d'exposition	F	G	E	Criticité	Référence risque critique (2)
1	Surveillance, intervention et démarrage de l'installation	Eau, pulpe et floculant	Hauteur	N	Chute en hauteur	3	4	4	48	1-1
					Noyade dans la pulpe	2	4	4	32	1-2
					Noyade dans l'eau	2	4	4	32	1-3
			Appareil tournant		Entrainement	2	3	4	24	
					Ecrasement	2	4	4	32	1-5
			Floculant	D	Glissade	3	2	4	24	
			Circuit sous pression	N	Entrainement objet sous pression	2	3	4	24	
			Boues	D	Glissage	3	2	4	24	
			Encombrement	I	Trébuchement ou choc	3	2	4	24	
			Bruit	D	Surdité	2	3	4	24	
					Stress excessif	3	2	4	24	
					Fatigue	3	2	4	24	
			Vibration		Stress excessif	3	2	4	24	
					Fatigue	3	2	4	24	
			Rayonnement ionisant		Destruction cellulaire	2	4	4	32	1-15
2	Nettoyage de l'unité	Eau, pulpe et floculant	Hauteur	N	Chute en hauteur	2	4	2	16	2-1
					Noyade dans la pulpe	2	4	2	16	2-2
					Noyade dans l'eau	2	4	2	16	2-3
			Appareil tournant		Entrainement	2	3	2	12	
					Ecrasement	2	4	2	16	2-5
			Circuit sous pression		Entrainement objet sous pression	2	3	2	12	
			Boues	D	Glissage	3	3	2	18	
			Floculant		Glissage	3	4	2	24	2-8
			Encombrement		Trébuchement ou choc	3	2	2	12	
			Bruit	N	Surdité	2	3	2	12	
					Stress excessif	3	2	2	12	
					Fatigue	3	2	2	12	
			Vibration		Stress excessif	3	2	2	12	
					Fatigue	3	2	2	12	
			Rayonnement ionisant		Destruction cellulaire	2	4	2	16	2-15
			Electricité		Electrisation ou Electrocution	2	4	2	16	2-16

N° ou référence	Activités	Produit mis en œuvre	Nature des dangers	Mode (1)	Description des disques et processus d'exposition	F	G	E	Criticité	Référence risque critique (2)
3	Nettoyage du bac de réception et de l'épaississeur	Eau, pulpe et floculant	Bruit		Surdité	2	3	2	12	
					Stresse excessif	3	2	2	12	
					Fatigue	3	2	2	12	
			Circuit sous pression	N	Entrainement objet sous pression	2	3	2	12	
			Encombrement		Trébuchement ou choc	3	2	2	12	
			Surface lisse		Glissage	2	3	2	12	
			Pulpe		Glissage	2	2	2	8	
			Floculant		Glissage	2	2	2	8	
			Solide		Blessure lors du décrottage	2	3	2	12	
4	Prise d'échantillon	Eau, pulpe et floculant	Hauteur	N	Chute en hauteur	2	4	2	16	4-1
					Noyade dans la pulpe	2	4	2	16	4-2
					Noyade dans l'eau	2	4	2	16	4-3
			Appareil tournant		Entrainement	2	3	2	12	
					Ecrasement	2	4	2	16	4-5
			Encombrement		Blessure suite trébuchement/choc	3	2	2	12	
5	Remplissage, Démarrage et surveillance de la station de floculation	Floculant	Manutention manuelle	N	Troubles musculo-musquelettiques	4	3	2	24	
					Déséquilibre par chute de sac	2	2	2	8	
			Floculant		Glissade	3	4	2	24	5-3
					Lésion respiratoire	4	3	2	24	
			Vibration		Stresse excessif	3	2	2	12	
					Fatigue	3	2	2	12	
			Encombrement	I	Trébuchement ou choc	3	2	2	12	
			Hauteur	N	Ingestion du floculant	2	3	2	12	
					Chute en hauteur	2	4	2	16	5-9
			Floculant		Glissade	3	3	2	18	
					Lésion respiratoire	2	3	2	12	
			Vibration		Stresse excessif	3	2	2	12	
					Fatigue	3	2	2	12	

(1) Mode : normal, dégradé ou incident
(2) Risque à G ≥ 4 et C ≥ 27

ANNEXE 4

Evaluation de la maitrise des risques																						
		Cotation			Notation du niveau de maitrise par référence du risque																	
	Critère d'évaluation de maitrise du risque	Oui	Non		1-1	1-2	1-3	1-5	1-15	2-1	2-2	2-3	2-5	2-8	2-15	2-16	4-1	4-2	4-3	4-5	5-3	5-9
Technique(T)																						
1	Y a-t-il des moyens techniques de prévention ? Éventuellement au niveau de la conception pour éviter l'exposition	1	0		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Y a-t-il des moyens techniques de protection ?	1	0		0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	Existe-t-il des moyens de détection, le suivi ou la surveillance ?	1	0		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Assure-t-on une planification documentée de la maintenance de l'ensemble des moyens ?	1	0		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Humain (H)																						
5	Le personnel exerçant l'activité liée à ce risque est-il compétent ?	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	Le personnel nouvellement affecté (mutation, nouveau recrutement, absence prolongée, changement d'activité…) est-il pris en charge pour adapter la compétence ?	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Le personnel est-il conscient et sensibilisé au risque ?	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Les autres parties intéressées (Entreprises extérieures, visiteurs, etc.) sont telles sensibilisées sur ce risque ?	1	0		1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
Organisationnel (O)																						
9	Y a-t-il des procédures documentées pour la maitrise (consignes, procédures, instructions, modes opératoires…) ?	2	0		2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	0	2
10	Ces procédures sont telles appliquées et y-a-t-il une surveillance de cette application ?	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
11	Y a-t-il un contrôle des moyens techniques utilisés pour la technique ?	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
12	Y-a-t-il des dispositions et/ou organisations pour intervenir en cas de survenue d'accident de travail ?	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total				9	13	3	13	9	13	12	12	12	13	9	13	11	13	13	13	9	13

1 ou 2 : critère satisfait
0 : critère insatisfait

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma

2016/2017

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom : BAOUDDI Yassir

Titre : Amélioration des performances de l'unité d'épaississement de la pulpe - Jorf Fertilizer Company II -

Résumé

Dans le cadre de sa politique de garder son rang de leader sur le marché du phosphate, le groupe OCP s'engage dans l'amélioration continue des procédés et des performances de production. C'est dans cette même optique qu'il m'a été confié d'améliorer les performances de l'entité JFC2 et plus précisément l'amélioration du système d'épaississement, notamment la qualité de produit de sous verse et surverse.

Dans un premier lieu nous avons évalué les indicateurs de la performance de l'unité d'épaississement, ce qui a permis de constater que le changement des propriétés de la pulpe était la principale cause, et plus particulièrement l'augmentation du pourcentage des particules fines.

Dans un second temps, nous avons modélisé le système étudié, à l'aide d'un plan d'expérience en évaluant la part de chaque facteur. L'utilisation de cette méthode permet de réduire le nombre d'expérience et d'aboutir à des résultats avancés avec plus d'efficacité.

Finalement, la sécurité est une valeur intrinsèque du Groupe OCP. Dans cette vision, nous avons analysé les risques aux postes de travail (ADRPT) selon le standard OCP au niveau de l'unité de réception et d'épaississement de la pulpe de phosphate à JFC2 afin d'établir un plan d'action pour maitriser les risques significatifs.

Mots clés : Pulpe – Epaississement – Plan d'expérience – Sécurité

Le numero 1 mondial du memoires
www.rapport-gratuit.com
clubmemoire@gmail.com