

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

Bilan de matière  
A laverie merah

**Lieu : KHOURIBGA**

**Référence : 07/17GI**

**Préparé par :**

-El Asri soufiane

-El Ghazi tariq

**Soutenu le 07 Juin 2017 devant le jury composé de :**

- Pr. **Sqalli Driss** (Encadrant FST)
- Pr. **A. Ennadi** (Examineur)
- Pr. **A. Chamat** (Examineur)
- Mr. **BENBAOUALI ADIL** (Encadrant Société)

## Liste des figures

| Figures   | Titres  | Pages |
|-----------|---|-------|
| Figure 1  | <u>Organigramme de l'office chérifien</u>                                   | 9     |
| Figure 2  | <u>Image Laverie Merah</u>  | 13    |
| Figure 3  | <u>Courbe de GAUSS de la distribution granulométrique du phosphate brut</u> | 15    |
| Figure 4  | <u>Les chaines de production</u>  | 16    |
| Figure 5  | <u>L'alimentation des chaines</u>   | 17    |
| Figure 6  | <u>Image d'un Débourbeur</u>  | 18    |
| Figure 7  | <u>Crible</u>   | 19    |
| Figure 8  | <u>L'alimentation de mise a teruil</u>                                      | 19    |
| Figure 9  | <u>Allure générale de l'écoulement de la pulpe dans un hydrocyclone</u>     | 20    |
| Figure 10 | <u>Les étapes d'un Hydro-classificateur</u>                                 | 21    |
| Figure 11 | <u>Schéma d'un convoyeur séparateur</u>                                     | 23    |
| Figure 12 | <u>Image convoyeur séparateur solide-liquide</u>                            | 23    |
| Figure 13 | <u>Traitement d'une chaine de lavage</u>                                    | 24    |
| Figure 14 | <u>Image d'un Un broyeur</u>  | 25    |
| Figure 15 | <u>Schéma représentant une coupe longitudinale du broyeur à boulets</u>     | 25    |
| Figure 16 | <u>Principe de flottation</u>   | 26    |
| Figure 17 | <u>Les décanteurs</u>   | 27    |
| Figure 18 | <u>Dessin d'un décanteur</u>  | 28    |
| Figure 19 | <u>Principe de floculation</u>  | 28    |
| Figure 20 | <u>L'installation de l'adaptation</u>                                       | 29    |
| Figure 21 | <u>chaîne 4 de lavage</u>   | 32    |

## Les tableaux

|                  |   |           |
|------------------|---|-----------|
| <u>Tableau 1</u> | <u>Les qualités sources en<br/>fonction du pourcentage en<br/>BPL</u> | <u>14</u> |
| <u>Tableau 2</u> | <u>Les resultats des trois essais</u>                                 | <u>34</u> |

## Liste d'abréviations

**OCP : Office Chérifien des Phosphates**

**BPL : bon phosphate of lime**

**SA : service active**

**TAMCA : technicien agent de maitrises cadre administratives**

**OE : ouvriers et employés.**



## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Introduction   | 5  |
| CHAPITRE 1 : OCP: HISTORIQUE ET PRESENTATION                           |    |
| A-Aperçu sur le groupe OCP   | 7  |
| 1. Historique  | 7  |
| 2. Filiales du groupe OCP  | 8  |
| 3. Statut juridique  | 8  |
| 4. Organisation du groupe  | 9  |
| a. Personnel du groupe OCP   | 9  |
| b. Organigramme du groupe OCP  | 9  |
| B-Présentation de la direction des exploitations minières de Khouribga | 10 |
| CHAPITRE 2 : TRAITEMENT DU PHOTSPHATE                                  | 11 |
| A-Caractérisation du phosphate   | 12 |
| B-Présentation de la laverie MERAH                                     | 12 |
| 1. Laverie Merah   | 12 |
| 2. L'objectif  | 14 |
| 3. Minerai à traiter   | 14 |
| C-Les phases de traitement à laverie                                   | 15 |
| 1. Lavage  | 17 |
| 2. Broyage   | 24 |
| 3. Flottation  | 26 |
| 4. Décantation   | 27 |
| 5. L'adaptation  | 29 |
| 6. Manutention   | 30 |
| CHAPITRE 3: BILAN DE MATIERE   | 31 |
| 1. Méthode théorique   | 32 |
| 2. Méthode pratique  | 33 |
| 3. Analyse des résultats   | 35 |
| 4. Les causes probables  | 36 |
| 5. Les solutions proposées   | 37 |
| CONCLUSION GENERALE  | 38 |



## Dédicace

À Nos chers parents, en témoignage de nos gratitude, si grande qu'elle puisse être, pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour notre bien-être.

Que dieu, le tout puissant, les préserve et leur procure santé et longue vie.

À nos frères et sœurs, pour leur encouragement, nous exprimons nos profondes reconnaissances.

A Nos professeurs, pour leurs efforts, tout au long de notre cursus scolaire et universitaire. Nous exprimons notre grand respect.

À tous nos amis, qu'ils trouvent en ce travail, l'hommage de notre gratitude, qu'aucun mot ne saurait l'exprimer, pour leur amour et leur attachement.

À toutes nos familles et tous ceux que on aime.



## REMERCIEMENT

Sans l'aide précieuse de plusieurs personnes, ce rapport n'aurait pas vu le jour. Nous tenons donc à travers ces quelques lignes à exprimer nos chaleureux remerciements aux responsables du Groupe Office Chérifien des Phosphates qui nous ont prêté l'assistance nécessaire pour le bon déroulement de notre stage.

A cet effet, nous remercions :

- **Mr. BENBAOUALI ADIL** ingénieur de lavage à laverie MERAH
- **Mr. TOUALYA** chef de service de lavage.
- **Mr. YOUSSEF LHMIDI** chef de nettoyage de lavage.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à tout le personnel, les chefs d'équipe, et l'ensemble des ouvriers fort sympathique qui n'ont jamais ménagé leur temps pour nous fournir toutes les informations nécessaires afin de mener à bien notre stage. Finalement nous espérons que tous sans exception trouveront dans ce rapport, l'expression de notre profonde gratitude.

Nous exprimons nos cordiales reconnaissances à Mr SQALLI pour son encadrement pédagogique en permanence et ces conseils intéressants.

Nous disons merci aux membres de jury pour leurs contributions à l'évaluation de notre mémoire de fin d'études. et merci encore mille fois pour vos riches conseils et renseignements.



## Introduction

Depuis quelques années, le groupe **OCP** s'est rigoureusement lancé dans la récupération de la valeur économique des couches de Phosphates pauvres en BPL (Bon Phosphate of Lime) qui rejoignaient le stérile, ce qui a incité les responsables à mettre en place de nouvelles technologies de valorisation de ces couches de plus en plus pauvres en BPL.

Dans cette perspective, le groupe **OCP** créa l'unité de lavage **MERAH** en **2010** qui se situe à 25 km au Sud-est de la ville de Khouribga. Cette unité constitue l'usine de lavage le plus important des phosphates pauvres de l'OCP avec 6 chaînes de lavage d'une capacité globale de 350 T/h (3MT/an), 2 ateliers de broyage d'une capacité unitaire de 240 t/h, 3 ateliers de flottation d'une capacité unitaire de 300 t/h, un parc de stockage équipé d'une capacité de 800 000 tonnes et 3 décanteurs de 135 m de diamètre. Cet investissement géant vise à adapter la laverie **MERAH** au traitement de la couche III, afin de satisfaire la demande du marché national et international, en termes de quantité et de qualité.

Les minerais de très basse teneur TBT subissent un traitement physique par voie humide à la laverie **MERAH**.

Ce rapport a été développé sous le thème : « Etude critique des chaînes de lavage de la laverie **MERAH** et établissement des bilans matières » et selon le plan suivant :

Le premier chapitre est consacré à une présentation générale du **Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP SA)** et ses activités.

Le deuxième chapitre concerne la présentation et la description de la **Laverie MERAH** et les phases de traitement des minerais de phosphate

Dans le troisième chapitre nous présenterons le bilan de matière.



# **CHAPITRE I: OCP: HISTORIQUE ET PRESENTATION**



## A).Aperçu sur le groupe OCP :

### 1) Historique :

Le groupe OCP fût crée par le dahir du 07 août 1920 qui réservait à l'état du Maroc les droits de recherche d'exploitation et de commercialisation du phosphate afin d'éviter que les richesses ne tombent aux mains d'organismes privés.

La production géologique qui a commencé vers 1908, a relevé les premiers indices de phosphate au Maroc en 1921 dans la région d'Ouled Abdoune de Khouribga.

L'exploitation effective du phosphate marocain fut entreprise à partir du Février dans la région d'Oued-Zem sur les gisements d'Ouled Abdoune.

Le premier Mars de la même année, l'ouverture de la recette de Boujniba a eu lieu, et premier train de phosphate a pris son chemin vers Casablanca le 30 juin sur voie large de 1.60m.

Depuis ce temps, L'OCP n'a cessé de grandir ; en effet, le phosphate marocain a une teneur de 75% BPL (bonne phosphate of line) ce qui induit une bonne qualité d'engrais à 18% au lieu de 16%, d'où la demande pour le phosphate marocain fut très élevée.

La mise en exploitation d'un nouveau gisement à Youssoufia dans la région de Gantour à 80 km de Safi où la teneur du phosphate de ce gisement (70%) est bien inférieure que celle du phosphate de Khouribga, mais elle reste supérieure à celle des gisements exploités dans les autres pays (Inde, USA, Tunisie...).

En 1929, la demande du phosphate marocain a connu un brusque abaissement à cause de la crise économique qui va demeurer jusqu'à la seconde guerre mondiale.

En 1952 : début de production d'acide phosphorique

En 1970 : création de groupe OCP.SA (service active)

En 1992 : démarrage de production de phosphate purifiée sur le site de JORF

LASAFRE

En 2000 : mise en marche de l'usine de lavage: flottation à Khouribga

En 2006 : lancement de nouveaux pôles urbains à Khouribga et benguerir

En 2012 : démarrage de plusieurs unités industrielles (laverie merah, lahrech.....)

En 2015 : démarrage programmé pipeline de l'axe benguerire.



## 2) Statut juridique :

L'OCP est une entreprise semi-publique de nature commerciale et industrielle étatique ayant pour mission l'extraction, le traitement, la vulcanisation aussi que l'exploitation du phosphate et ses dérivés.

Le législateur l'a dotée d'une organisation spécifique lui permettant d'agir avec liberté indépendamment de l'Etat et ceci bien sur a des limites bien déterminées

Le Directeur Général de L'OCP est nommé par un dahir Royal, et contrôlé par conseil administratif.

L'office est inscrit au registre du commerce et aux mêmes obligations fiscales comme n'importe quelle entreprise privée. L'Etat n'intervient en aucun cas dans la gestion financière de L' OCP.

## 3) filiales du groupe OCP :

L'organisation de l'OCP regroupe plusieurs filiales parmi lesquelles on cite :

- **CERPHOS** : « **Centre d'Etudes et Recherches des Phosphates Minéraux** ». Créé en Octobre 1975, il a pour mission l'organisation et l'exécution de toute activité d'analyses, d'études et des recherches scientifiques et techniques liées directement ou indirectement à l'exploitation et à la valorisation des phosphates et des produits dérivés.
- **SMESI** : « **Société Marocaine d'Etudes spéciales et industrielles** » Créé en 1959, ses activités principales sont les études et réalisations d'installations industrielles (Stockage, traitement, etc.)
- **SOTREG** : « **Société de Transports Régionaux** » Créé en juillet 1973, pour le transport du personnel du Groupe OCP.
- **STAR** : « **Société du Transport et d'Affrètement Réunis** » Positionnée à Paris, assure l'affrètement des navires et services annexes aussi bien pour le compte du Groupe que d'autres organismes.
- **MARPHOCEAN** : Créé respectivement en 1965 et 1973, ces unités industrielles produisent l'acide phosphorique et les engrais.



#### 4) Organisation du Groupe :

##### a) Personnel du groupe OCP :

###### **-Personnel hors cadre :**

Il est classé selon les fonctions ci-après :

- Directeurs.
- Chefs de divisions.
- Chefs de service.
- Ingénieurs.

###### **-Personnel TAMCA et OE :**

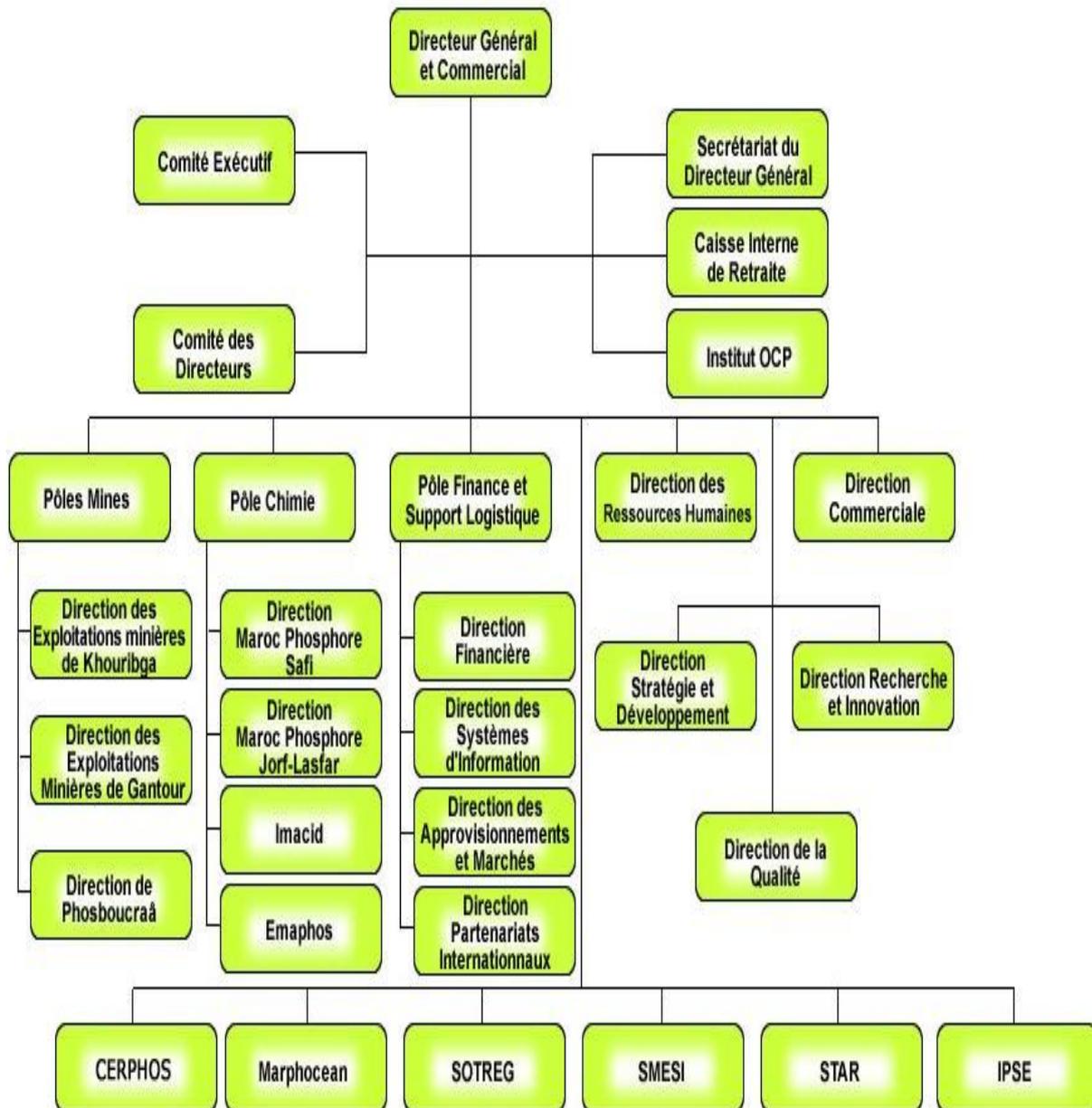
Cette catégorie est répartie en 5 groupes professionnels, elle se compose de deux à trois niveaux, et à chaque niveau correspond une catégorie ou échelle.

Par catégorie, il y a lieu d'entendre le personnel O.E (Ouvriers et Employés), et par échelle le personnel TAMCA (Technicien Agents de Maîtrise et Cadres Administratifs).

##### b) Organigramme du groupe O.C.P :

Au sommet de l'organigramme du groupe (figure 1), on trouve la direction générale à Casablanca qui décide de la politique générale du groupe, viennent ensuite aux niveaux inférieurs, les directions par spécialité :

Ces directions regroupent plusieurs divisions chacune allouée à un objectif et une tâche bien déterminée.



**Figure 1 : Organigramme de l'office chérifien**

## **B) Présentation de la direction des exploitations minières de Khouribga :**

La direction des exploitations minières de Khouribga est subdivisée en divisions et services.

✍ ***Division Extraction Khouribga (DEK/EK) :*** C'est la division chargée de l'extraction du phosphate de la zone de Khouribga.



✍ ***Division Traitement de Khouribga (DEK/TK) :***

Chargée du traitement et l'enrichissement du phosphate provenant de la division Extraction.

C'est le service de laverie merah

✍ ***Division des Embarquements (DEK/PC) :***

En raison de la nature des attributions de cette division qui sont la réception, le stockage et l'exportation du phosphate, elle s'est installée au port de Casablanca pour être plus proche du lieu de ses activités.

✍ ***Division Administrative de Khouribga (DEK/AK) :***

Elle s'occupe de régir les relations officielles entre la direction et les autorités publiques locales et provinciales, ainsi que les relations de la direction avec les agents de l'office (attribution de logement, autres sportifs...).

✍ ***Division Maintenance Centralisée de Khouribga (DEK/MK) :***

Elle a la tâche d'assurer la bonne marche du matériel alloué à la direction de Khouribga et ceci pour permettre la continuité de l'exploitation et pour limiter le nombre de pannes enregistré et qui entrave le déroulement des travaux.

✍ ***Service Etudes et Analyses (DEK/EA) :***

Chargé d'étudier et d'analyser les budgets d'investissement et de fonctionnement, l'évaluation de la production, ainsi que de la vente du phosphate extrait et traité par la direction.

✍ ***Service Médical (DEK/SM) :***

Dans le but d'assurer à l'ensemble de son personnel et leurs familles, une couverture sanitaire, l'O.C.P a créé ce service, ainsi que la gestion de l'hôpital O.C.P.

✍ ***Service Achat Délégué (DEK/AD) :***

Son rôle est l'approvisionnement local en termes de fournitures et marchandises de la Direction.



## **CHAPITRE II : TRAITEMENT DU PHOTSPHATE**



## CHAPITRE II: TARAITEMENT DE PHOSPHATE :

### A. Caractérisation du phosphate :

Le phosphate est le résultat de la décomposition des matières organiques, et généralement la décomposition d'ossements de poisson, qui ont été abandonnés par des océans, et des mers pendant des millions d'années et suite à des dérangements souterrains, les couches se sont trouvées à des profondeurs variables entre 5 à 49m. Il est utilisé essentiellement dans la fabrication des engrais permettant l'enrichissement des sols.

Un minerai de phosphate se compose en général de trois parties à savoir :

- le phosphate pur.
- le stérile.
- l'eau.

Le phosphate pur : est constitué par des grains phosphatés appelés "oolithes", des débris osseux connus sous le nom :

- Apatite :  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- Fluorapatite :  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 = 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$
- Chloroapatite :  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2 = 3\text{Ca}_3(\text{P})_2\text{CaF}_2$

Le stérile : tout corps solide contenu dans le minerai autre que phosphate pur.

L'eau : C'est l'humidité contenue dans le minerai.

### B. Présentation de la laverie MERAH :

#### 1. Laverie Merah :

Le projet de doublement de la production concerne particulièrement la ville de Khouribga, véritable capitale mondiale du phosphate. Cet objectif passe essentiellement par la construction de nouvelles laveries dont la fonction est d'enrichir le phosphate et le préparer pour le transport via minéroduct (Slurry Pipe).

Le site de la laverie MEA est localisé à environ 25 km au sud-est de la ville de Khouribga, de part et d'autre de la route nationale RN11, en se dirigeant vers Fkih Ben Salah est l'une de ces laveries (voir la figure 2 dans la page suivant ).



**Figure 2 : Image Laverie Merah**

Elle a commencé ses activités en 2010, et en, 21 mars 2012 s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du projet industriel du groupe OCP et de sa stratégie ambitieuse conciliant expansion des activités industrielles, préservation des ressources en eau et respect de l'environnement, placés au cœur des préoccupations du groupe marocain.

Le minerai qui sera traité dans les installations du projet est un phosphate sédimentaire, meuble, qui comporte des proportions en stériles allant jusqu'à 40%. Ces derniers sont constitués des blocs calcaires et de silex. Ces stériles seront éliminés au niveau des opérations d'épierreage et de criblage.

Mise en service de la nouvelle laverie MEA dans le cadre du programme du développement industriel d'OCP; record de production du phosphate moyenne teneur à 2,4 millions de tonnes, ce qui a permis, pour la première fois, d'expédier à Jorf Lasfar un phosphate plus riche sur toute l'année 2010. Remise en exploitation du Khouribga sud.



## 2. L'objectif:

La laverie MERAH a entamé ses activités, dans le but d'enrichir les qualités de phosphate pauvres en provenance du site d'extraction de la zone centrale Mea et de fabriquer des qualités marchandes destinées à l'export et à l'exploitation nationale.

L'enrichissement consiste à débarrasser le minerai de ses fractions granulométriques les plus pauvres, à savoir les grains supérieurs à 125 µm et inférieurs à 40 µm. Cette valorisation, se fait à l'aide des traitements spécifiques permettant d'élever sa teneur en BPL, et le préparer au transfert par Pipeline vers Jorf Lasfar.

## 3. Minerai à traiter :

Le minerai de phosphate est caractérisé par sa teneur en BPL (Bon Phosphate of Lime) qui signifie : phosphate des os (chaux) à base du calcium. Donc en fonction de sa teneur en BPL, le phosphate est classé en différentes qualités sources et voilà le tableau 1 qui montre la source de qualité en fonction du pourcentage en BPL:

| Qualité Source             | % BPL               |
|----------------------------|---------------------|
| Super Haute Teneur : SHT   | BPL > 75%           |
| Très Haute Teneur : THT    | 73% < BPL < 75%     |
| Haute Teneur Normal : HTN  | 71,5% < BPL < 73%   |
| Haute Teneur Moyenne : HTM | 96,5% < BPL < 71,5% |
| Moyenne Teneur : MT        | 68% < BPL < 96,5%   |
| Basse Teneur Riche : BTR   | 65% < BPL < 68%     |
| Basse Teneur Normal : BTN  | 63% < BPL < 65%     |
| Basse Teneur Pauvre : BTP  | 61% < BPL < 63%     |
| Très Basse Teneur : TBT    | 58% < BPL < 61%     |

**Tableau 1 :Les qualités sources en fonction du pourcentage en BPL**

D'après les analyses granulo-chimiques de GAUSS, le phosphate provenant à la laverie MEA est généralement constitué de trois tranches :

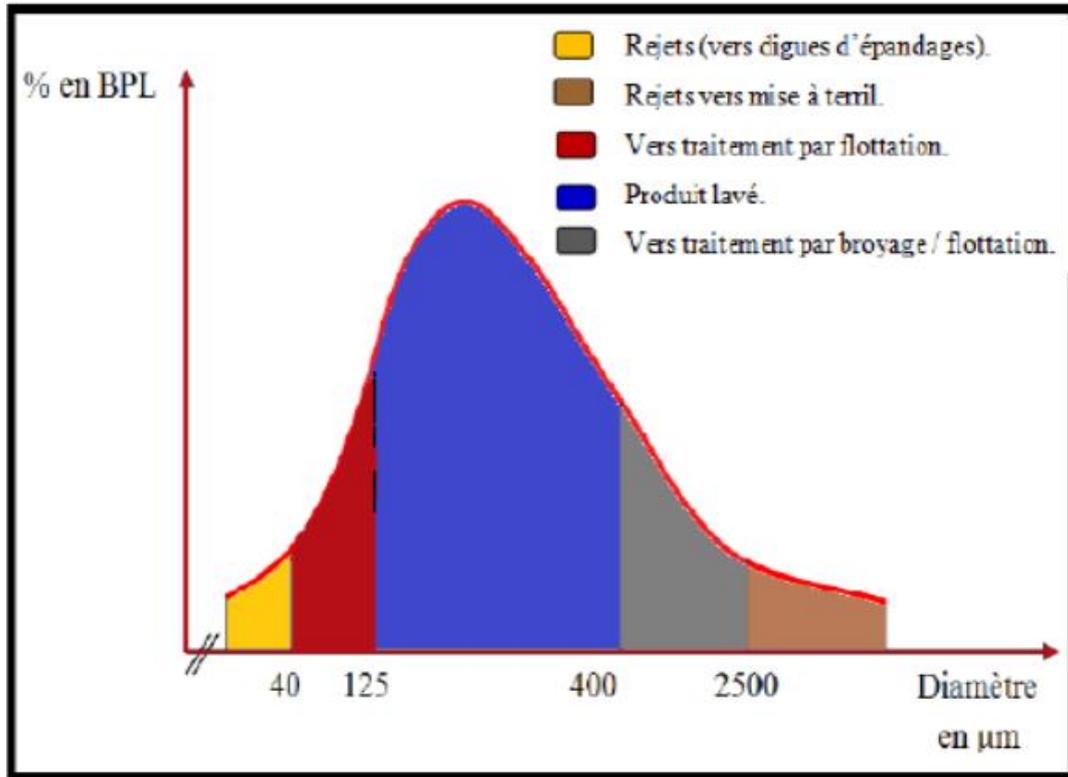
- *La tranche à particules grossières* « supérieure à 2.5mm pauvre en BPL » :

C'est un mélange d'agglomérat à ciment calcaire et de gros grains de silice souvent libre, la teneur de cette tranche est de l'ordre de 50% en BPL.

- *La tranche à fines particules* « inférieure à 40 $\mu$ m très pauvre en BPL » :

Relativement riche en CO<sub>2</sub> et SiO<sub>2</sub>, ne renferme pratiquement que des argiles. La teneur de cette tranche est de l'ordre de 45% en BPL.

- *La tranche intermédiaire* est plus riche en BPL.



**Figure 3 : Courbe de GAUSS de la distribution granulométrique du phosphate brut**

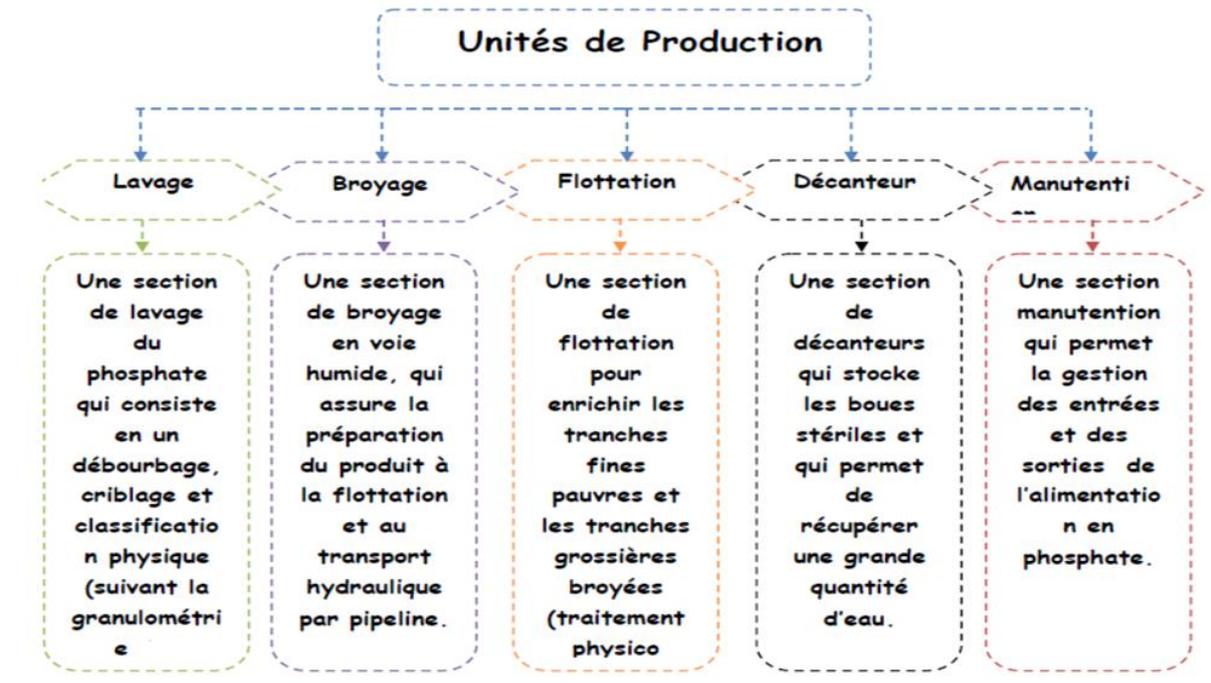
### **C. Les phases de traitement à laverie :**

En sortie des différentes zones d'extractions, le minerai du phosphate est convoyé vers la laverie MEA ou il va subir des traitements spécifiques permettant d'élever sa teneur.

L'unité de lavage et de flottation MERA comporte cinq chaînes de production qui sont :

- Section de lavage. -----6 CHAINES.
- Section de Broyage. -----2 ATELIERS.
- Section de Flottation. -----3 ATELIERS.
- Section de Stockage des boues et de récupération des eaux (Décanteurs).

Et voilà l'objectif de chaque chaîne de production de la laverie Merah :



**Figure 4 :Les chaines de production**

### 1) Lavage :

Le lavage est un traitement physique par voie humide qui consiste à déliter le produit brut par débouage et à le débarrasser au maximum de ses impuretés par criblage et classification humide. Donc le but du lavage est d'augmenter la concentration en BPL du minerai en le débarrassant des deux tranches :

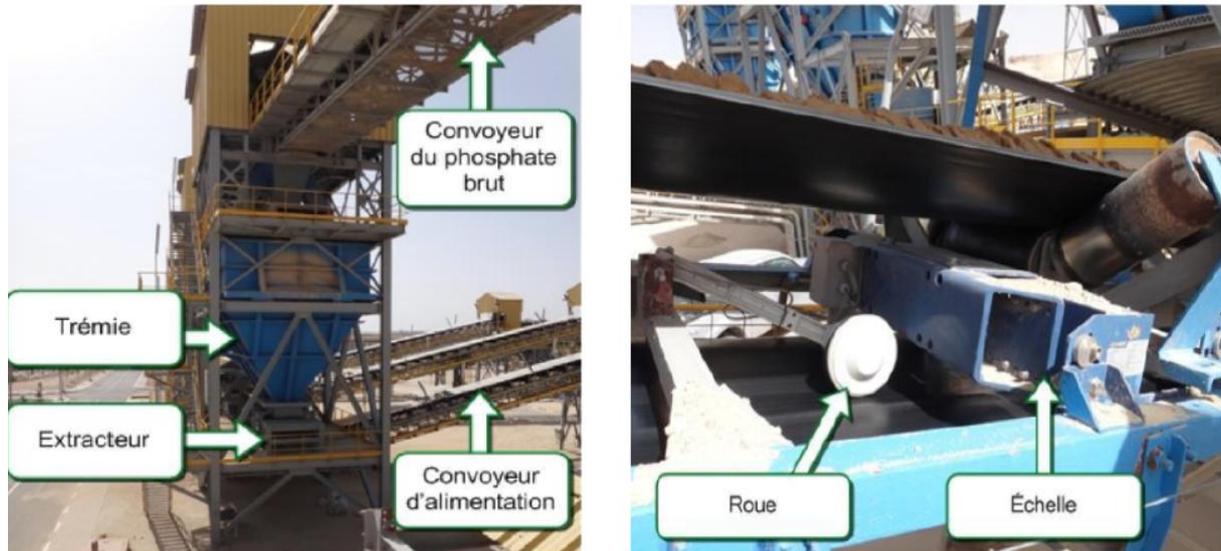
- La tranche haute supérieure à 2.5mm éliminée par criblage humide.
- La tranche basse inférieure à 40  $\mu$ m éliminée par classification hydraulique.

Et ceci en tenant compte du rendement poids de l'opération de lavage. L'unité de lavage est composée de six chaînes de lavage, chaque chaîne est équipée d'une trémie tampon, un débouageur, quatre batteries hydro-classificatrices, un hydro-classificateur ainsi que des pompes et des bacs à pulpes qui ont pour objectif d'assurer une alimentation régulière et stable des équipements en aval et permettre une souplesse d'exploitation, d'où une augmentation de disponibilité des installations.

#### a) Alimentation en brut :

Le minerai transporté par le convoyeur du phosphate brut (entre 350t/h et 360t/h) entrer dans les chaînes de lavage par leur trémie tampon respective. La trémie de chaque chaîne collecte le minerai et lui permet de passer du convoyeur du phosphate brut constant a 350t/h

vers le convoyeur d'alimentation par l'intermédiaire d'un extracteur qui régule son débit d'alimentation avant sa prise en charge par le convoyeur d'alimentation. Ce dernier est muni d'une bascule composée d'une roue et d'une échelle pour mesurer le débit du produit brut transporté. En effet, la roue mesure la vitesse du convoyeur et l'échelle mesure la masse du minerai.(figure 5)



**Figure 5 : L'alimentation des chaînes**

b) Mise en pulpe du phosphate brut et débouillage  
(figure 6) :

La mise en pulpe et le débouillage sont réalisés par le débouilleur qui exerce une action combinée de frottements et de mise en suspension dans l'eau, cette action se réalise par le brassage énergétique et continu des matériaux tout au long de leur passage dans sa virole. Le phosphate brut (avec un taux massique de 89% de solide) et l'eau de lavage cheminent dans le même sens à l'intérieur du corps tournant avec une vitesse de 6 à 8 tours/min pour que le produit soit homogénéisé et ressort avec 41% de solide.



**Figure 6 : Image d'un Débourbeur**

### c) Criblage :

La pulpe ainsi traitée au niveau du déboureur, 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 2.5 mm**, l'opération de criblage est réalisée au moyen d'une machine vibrante à débit continu équipée d'une grille comportant des ouvertures de dimensions bien calibrées qui permettent de séparer les minerais des stériles volumineux qui risquent de perturber les traitements ultérieurs du phosphate.

Les particules solides de dimensions inférieures à la maille passent à travers la grille, constituant le passé, tandis que les grosses particules restent au-dessus de la grille, constituant le refus du crible : c'est la tranche qui sera évacuée vers **la mise à terril**. Le criblage est facilité à l'aide d'un système d'arrosage par l'eau sous pression provenant du compresseur PP20, et pulvérisée par les buses, afin de libérer les grains phosphatés adhérents à la surface du crible. Voir (figure 7) dans la page suivant.

Le crible effectue deux mouvements qui sont :

- **Un mouvement Vertical** : de bas en haut pour favoriser le criblage.
- **Un mouvement Horizontal** : Le mouvement du va et vient provoque l'évacuation du produit pour palier au problème de goujonage.



**Figure 7 :Crible**

**Le stérile**

Les particules de dimensions supérieures à 2.5 mm (tout corps solide contenu dans le minerai autre que phosphate pur.) Qui rejet à partir de crible (figure 8), c'est la tranche qui sera évacuée vers **la mise à terril.**



**Figure 8 :L'alimentation de mise a terril**

## d) Classification humide :

Après le criblage, le produit passe à l'étape de la classification humide en entrant dans une série de batteries d'hydrocyclones (BH1, BH2, BH3 et BH4).

### **Principe de fonctionnement d'un hydrocyclone :**

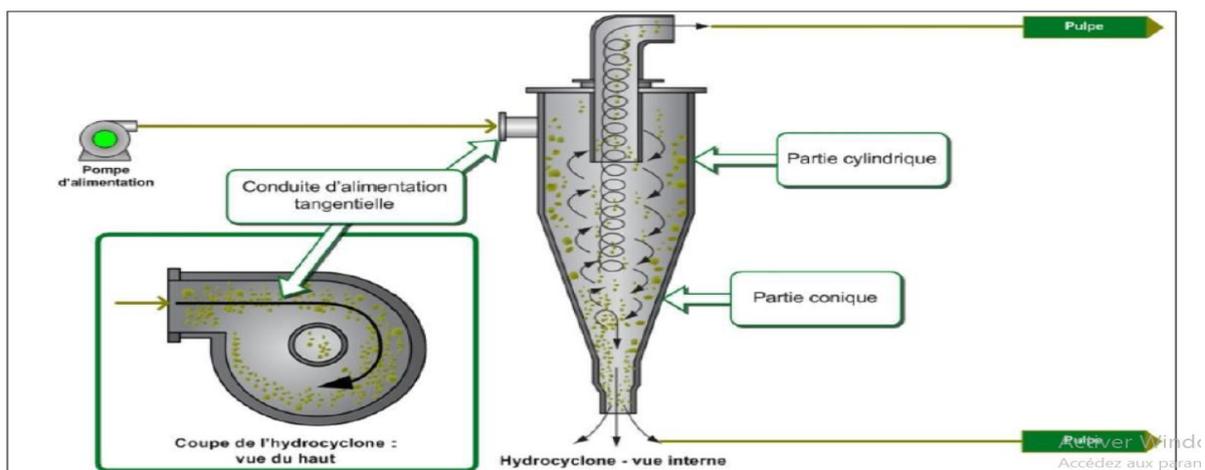
Un hydrocyclone est un appareil de classification hydraulique qui utilise la force centrifuge pour séparer les fines particules argileuses des grosses particules, il se compose de deux parties :

- Une partie cylindrique où se fait l'alimentation tangentielle en pulpe (suspension).
- Une partie conique se termine par une buse.

Dans un hydrocyclone, la séparation est faite selon des principes d'équivalence de densité et de granulométrie des matériaux, selon lesquels un gros grain léger équivaut à un petit grain lourd. Dans la partie cylindrique, la pulpe est injectée tangentielle sous pression. Ceci donne un mouvement de rotation rapide à la pulpe, créant une accélération centrifuge.

La force centrifuge entraîne les grains les plus fins et les plus légers vers le haut (la surverse).

Les grains les plus gros et les plus denses sont repoussés vers la paroi et évacués vers le bas (la sous verse). La figure 8 suivante présente l'allure générale de l'écoulement de la pulpe dans un hydrocyclone.



**Figure 9: Allure générale de l'écoulement de la pulpe dans un hydrocyclone**

## • Classification :(BH1.BH2.BH4.HD1) :

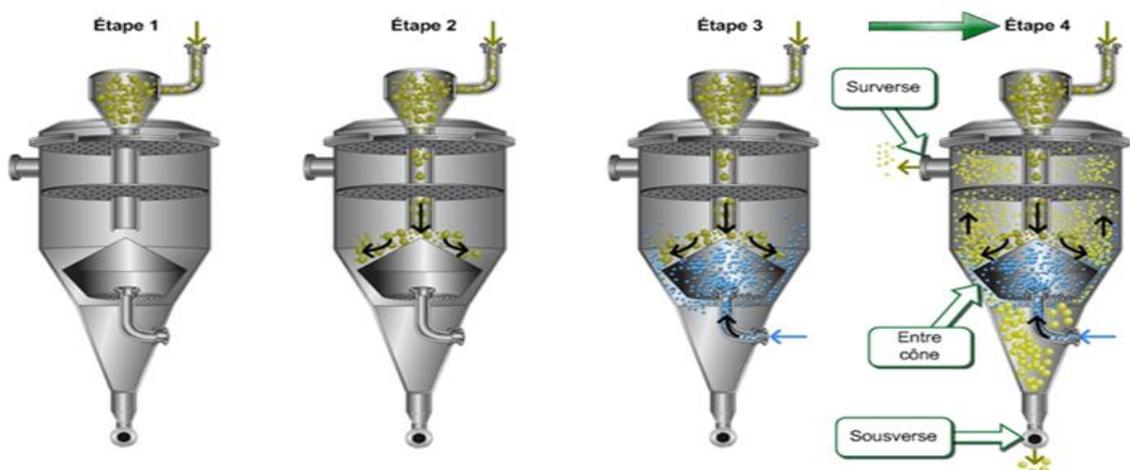
Dans ce type d'opération, on récupère deux suspensions, une à la surverse et l'autre à la sous verse. Le fonctionnement est caractérisé par une faible concentration en solide de la pulpe d'alimentation. Le tourbillon central est traversé par une colonne d'air ; et la décharge s'effectue sous forme d'un parapluie, avec une concentration en solide qui reste assez faible. (Pulpe diluée).

## • Epaississement (BH 3) :

Il s'agit d'une séparation solide-liquide. La concentration en solide de la pulpe d'alimentation est élevée. La colonne d'air disparaît à peu près complètement, tandis que la sous verse s'effectue sous forme d'un boudin très concentré, la surverse ne contient que très peu de solide.

## d-1-Classification (BH1vers HD1):

Les passants du crible sont déversés dans le BP1 pour alimenter le système d'hydro-classification constitué d'une batterie d'hydrocyclones BH1 et d'un hydro classificateur HD1. Ses parties composantes sont illustrées dans la figure suivante :



**Figure 10 :Les étapes d'un Hydro-classificateur**



La batterie hydrocyclones BH1, réalise une coupure à 125 $\mu$ m. Sa surverse constituée des inférieurs à 125 $\mu$ m est déversée dans le BP2 qui alimente une deuxième batterie hydrocyclones BH2. Cette batterie assure une deuxième séparation complémentaire et réalise une coupure à 125  $\mu$ m. La sous verse de BH2 constituée des supérieurs à 125 $\mu$ m est déversée dans l'hydro classificateur HD1 réalisant une coupure à 400 $\mu$ m. La sous verse de l'hydro-Classificateur, contenant des grains phosphatés de granulométrie entre 400 $\mu$ m et 2500  $\mu$ m, est évacué vers le BP13 qui alimente les ateliers de broyage.

L'hydro-classificateur HD1 est utilisé pour faire la coupure des grains phosphatés à 400 $\mu$ m uniquement pour le procédé traitant le minerai de la couche 3. C'est un équipement de forme cylindro-conique d'un volume de 18 m<sup>3</sup>, il est construit entièrement en acier peint.

### d-2-Classification (BH2 vers BH4):

La surverse de BH2 (fractions <125 $\mu$ m) est déversée dans le BP4 qui alimente BH4 qui réalise une coupure à 40  $\mu$ m pour éliminer les schlamms. La sous verse de BH2 (fractions > à 125 $\mu$ m) est déversée dans BP3. La surverse de BH4 (les schlamms : fractions < 40  $\mu$ m) qui représente les boues de lavage est évacuée par gravitation vers les décanteurs. La sous verse de BH4 (fractions > 40 $\mu$ m et < 125 $\mu$ m) est déversée dans BP5 qui alimente les unités de flottation.

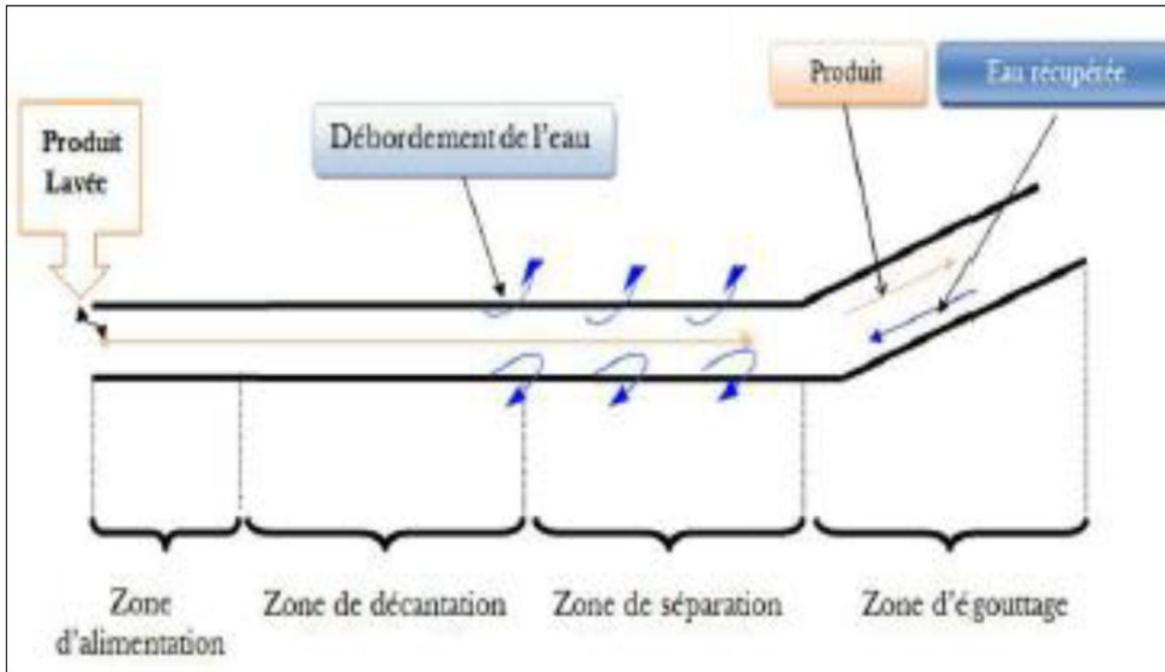
### d-3-Epaississement (HD1 vers BH3):

La surverse de l'hydro-classificateur HD1 (fractions >125 $\mu$ m et <400 $\mu$ m) et la sous verse de BH2 (fractions >125 $\mu$ m et <2500 $\mu$ m), qui représentent le phosphate lavé, sont déversées. Dans BP3 qui alimente la BH3. Celle-ci sépare l'eau du phosphate lavé. La surverse de cette batterie représente l'eau recyclée vers le trommel débourbeur DB. La surverse de BH3 (phosphate lavé : 125 $\mu$ m et <400 $\mu$ m) est acheminée vers les convoyeurs séparateurs CS1 ... CS7 pour subir un deuxième stade de séparation du phosphate lavé de l'eau par égouttage.

### e) L'égouttage

Après la classification, la tranche du phosphate lavé sortant doit être drainée pour récupérer le maximum d'eau avant son stockage. Pour se faire, on utilise des convoyeurs séparateurs FL à bande de 1400 mm, composées d'une partie horizontale et d'une autre inclinée par 15°. Le produit noble est envoyé sous forme d'un gâteau égoutté ayant une humidité de 23% à 25% au niveau de la partie inclinée du convoyeur. L'eau est éliminée par débordement dans la zone

de séparation. Le principe de fonctionnement de ce système de sortie est basé sur les hydrodynamiques des particules solides dans un milieu aqueux. Le phosphate lavé est récupéré par la suite sur les convoyeurs lavé , et voilà ce qui montre la figure 10 et 11



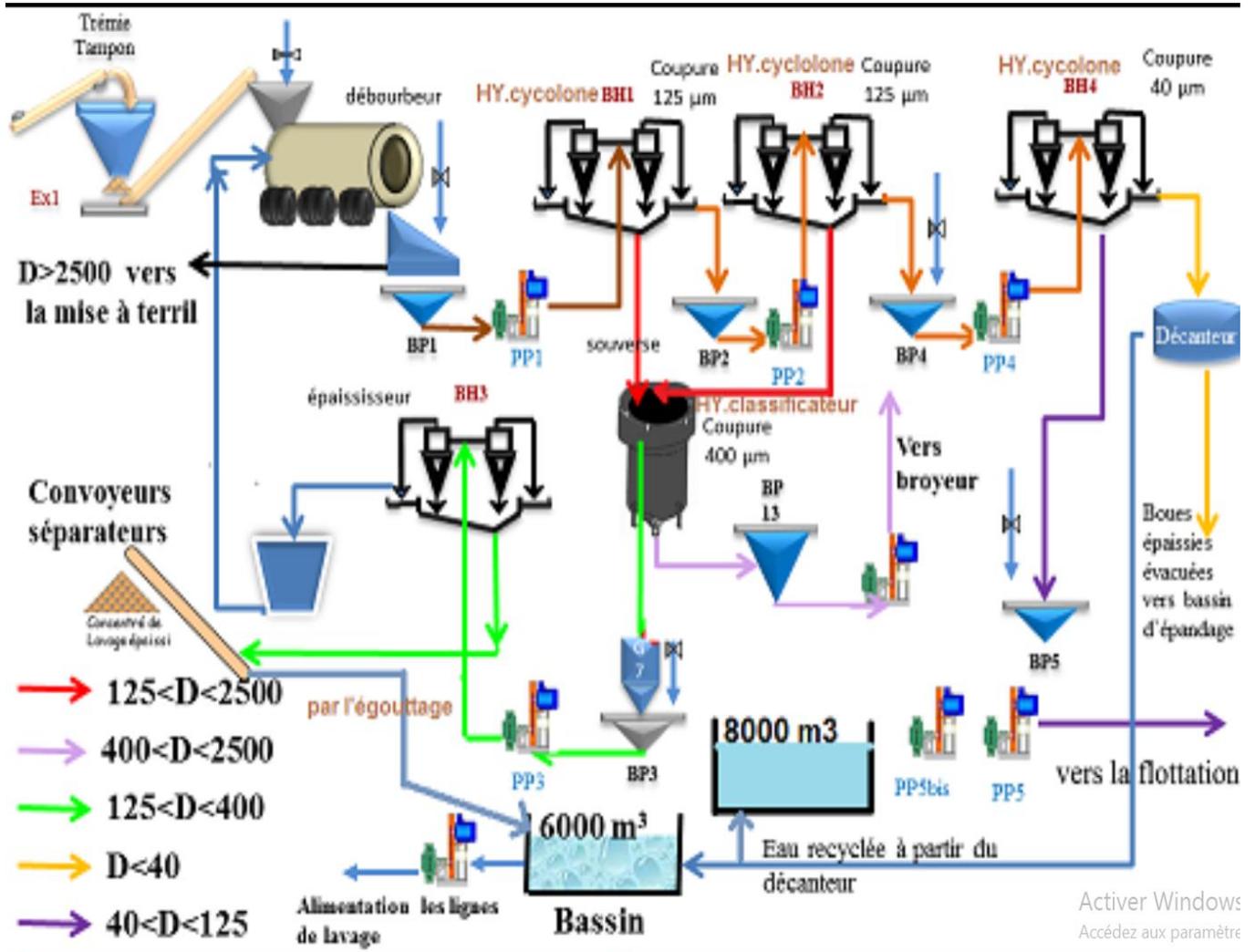
**Figure 11 :Schéma d'un convoyeur séparateur**



**Figure 12 : Image convoyeur séparateur solide-liquide**



Et voilà le schéma suivant qui traduit le traitement de phosphate d'une chaîne de lavage :



**Figure 13 : Traitement d'une chaîne de lavage**

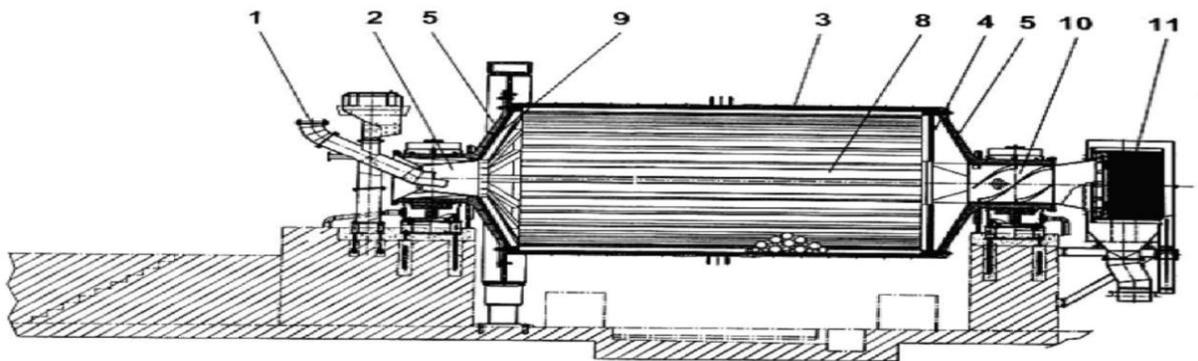
## 2) broyage :

### a) Définition :

Le broyage est un procédé qui consiste à réduire en de très petites particules (<180µm) la tranche [400, 2500µm] en provenance du lavage pour faciliter par la suite le procédé de flottation. Il provoque un ensemble de force pour engendrer des fissurations sur la surface et par la suite la séparation entre les grains, afin d'aboutir à des particules ayant une dimension plus petite.



**Figure 14 :Image d'un Un broyeur**



|  |  |
|--|--|
| <p>1. Entrée et sortie du broyeur<br/>           2. Cône d'entrée<br/>           3. Cylindre du broyeur<br/>           4. Paroi de décharge côté palier libre<br/>           5. Paroi de décharge côté palier fixe</p> | <p>6. Palier à collet<br/>           7. Système d'alimentation en huile<br/>           8. Armature en caoutchouc – cylindre de broyeur<br/>           9. Armature en caoutchouc – paroi frontal<br/>           10. Vis sans fine sortie<br/>           11.</p> |
| <p>- Débit D'alimentation : 120 Tonnes/H (Par Broyeur)<br/>           - Granulométrie Alimentée : 99,48% &lt; 2,5mm<br/>           - Finesse Du Broyé : 90%&lt;180µm</p>   |  |

**Figure 15 :Schéma représentant une coupe longitudinale du broyeur à boulets**

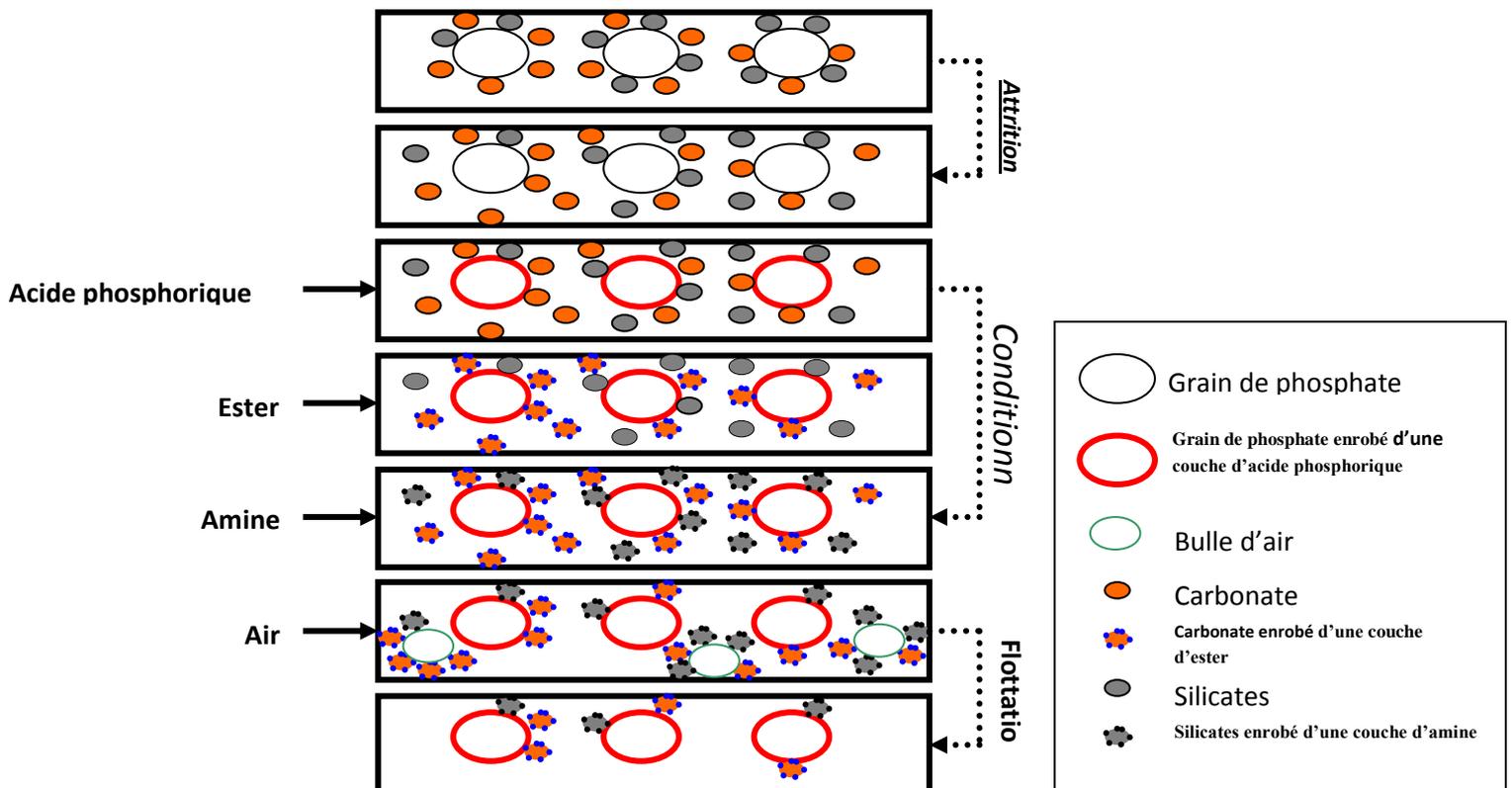
### 3) flottation :

#### a) But de la flottation

L'enrichissement du minerai de phosphate (tranche 40 – 125µm) par flottation, est un traitement physique basé sur les propriétés de la chimie des surfaces, dont le but est de récupérer en majeure partie le minerai utile.

#### b) Principe de la flottation

Le principe de flottation est basé sur les propriétés hydrophobes et hydrophiles des surfaces des solides. Ces propriétés peuvent être naturelles ou stimulées, à l'aide d'un réactif approprié qui est ajouté dans l'eau baignant les particules solides. Lorsque de l'air est introduit sous forme de petites bulles dans un tel milieu, il se produit un transport sélectif des particules hydrophobes. Les particules présentant des surfaces hydrophobes se fixent aux bulles d'air lorsqu'elles entrent en collision avec elles.



**Figure 16 :Principe de flottation**

Ce phénomène est dû à la grande affinité des surfaces hydrophobes pour l'air. Les bulles d'air entraînent ces particules jusqu'à la surface de la pulpe où elles forment une mousse chargée, par contre les particules présentant des surfaces hydrophiles ne se lient pas aux bulles d'air et restent en suspension dans la pulpe. La flottation consiste à flotter les carbonates qui sont collectés par l'ajout de l'ester et les silicates qui sont collectés par l'ajout de l'amine. Alors que le phosphate est déprimé par l'ajout de l'acide phosphorique : c'est la flottation inverse. A la fin ce produit de flottation sera évacué vers l'adaptation. Voir la figure 15 dans la page précédent.

#### 4) Décantation :



**Figure 17 :Les décanteurs**

Le traitement du minerai du phosphate par lavage et flottation consomme une grande quantité en eau. Pour pallier à ce problème et éviter une consommation abusive, l'importance est de plus en plus donnée au recyclage des eaux comme ressources intéressantes. Les grains inférieurs à  $40\mu\text{m}$  issues de la batterie sont envoyés vers trois bassins appelés décanteurs qui servent à récupérer le maximum d'eau claire séparée des fines particules. Cette récupération se base sur le phénomène de décantation, 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 a pour but d'augmenter la vitesse de décantation en ajoutant un flocculant.

Le décanteur est un bassin circulaire à fond conique, au centre un dôme qui reçoit la pulpe argileuse de la conduite issue de la surverse de la batterie, ce bassin est équipé d'un système de raclage qui mène les boues vers le centre pour qu'elles soient aspirées par les pompes de soutirages. Le débordement des deux décanteurs va vers l'un qui alimente une cuve à l'aide d'une pompe. Voir la figure 17 page suivante :



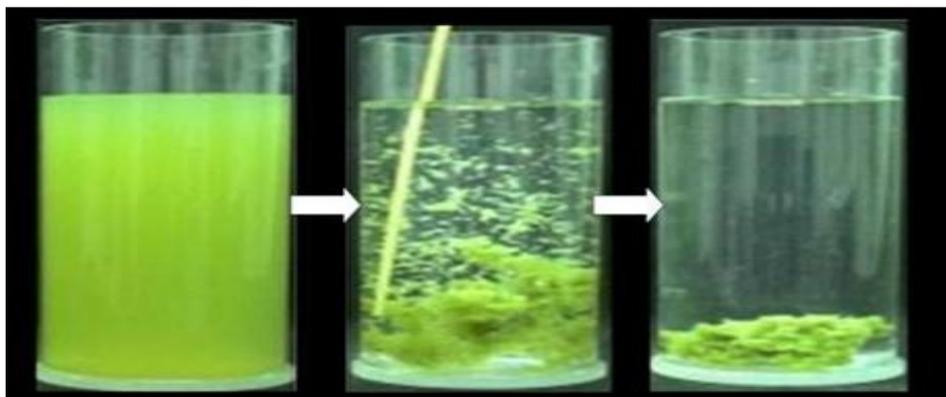
**Figure 18: Dessin d'un décanteur**

## **Les bassins d'eau**

L'alimentation en eau fraîche de toute la laverie est assurée par deux bassins d'eau d'une capacité de 8000 m<sup>3</sup> et 6000 m<sup>3</sup>. Les deux bassins sont alimentés à la base par l'eau claire des décanteurs

## **Floculation :**

La floculation est un phénomène physico-chimique au cours duquel les micelles et les matières en suspension forment des flocons, s'agrègent en un floc, ce qui détruit la stabilité de la solution et entraîne leur sédimentation. Un floculant est un polymère (c'est-à-dire une longue molécule constituée par la répétition d'un motif de base) qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par sédimentation ce qui montre la figure 18 :



**Figure 19 : Principe de floculation**

## 5) L'Adaptation :

Le projet Adaptation est un projet Phare, il constitue un maillon entre les unités de production et de traitement à la Direction de Khouribga et les sites de valorisation des phosphates, il permettrait d'approvisionner ces sites en quantités suffisantes et régulières en produits adaptés

L'objectif de cette unité d'adaptation est de rendre le produit compatible au mode de transport par Pipeline à ces usines de valorisation

Ce projet constitue une rupture avec les modes de transports traditionnels par train ; Ce mode de transport traditionnel en tant que tel, engendrait des frais de transport très importants et un trafic non régulier en raison de la flotte ONCF qui n'a pas pu répondre au besoin de L'OCP (suppression des trains et retard)

Il va sans dire que ce projet a pour finalité d'adapter les phosphates des niveaux C2 et C3 traités et enrichis au niveau de la laverie MERAH par mode de lavage et flottation seul : cas de C2 ou lavage, flottation et broyage cas de C3.

La partie d'adaptation contient :( voire la figure ci-dessus) :

Un atelier de broyage comprenant :

- un broyeur principal assurant une fragmentation de 160um.
- 3 broyeurs effectuant une fragmentation de 40um.

Un atelier de décanteurs (2 décanteurs) .



**Figure 20 :L'installation de l'adaptation**



## 6) Manutention

### Stockage :

-D'après l'égouttage, le produit fini stocké a une grande surface de capacité de 800 000 t par des convoyeurs de phosphate.

-D'après l'opération de l'adaptation ,le produit va stocké a 2 décanteurs à l'instar en forme à ceux installés à l'OCP ( ces derniers vont assurer le stockage du produit adapté en vue de récupérer l'eau recyclée moyennant le phénomène de décantation et permettre d'évacuer le produit adapté vers Head station ( circuit pipeline) par la pompe de décanteur vers Jadida.

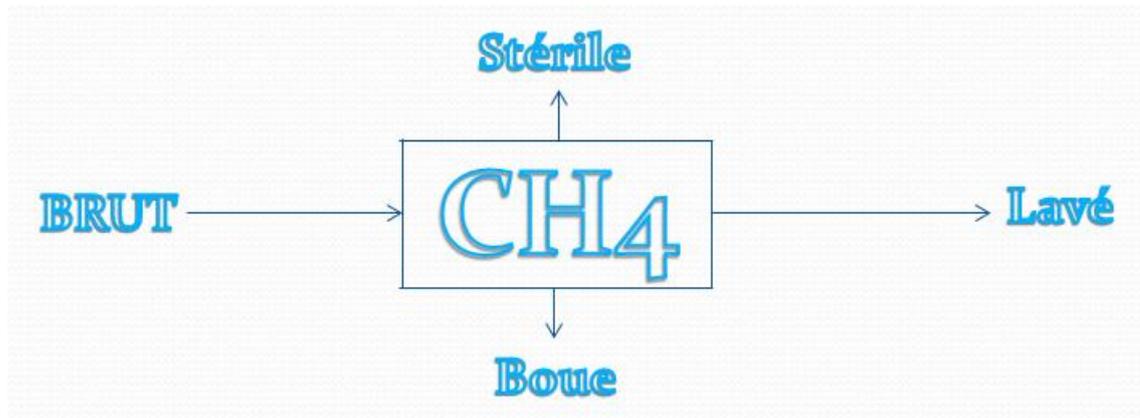


**CHAPITRE III :**  
**BILAN DE MATIERE**

## CHAPITRE III: BILAN DE MATIERE

### CHAINE DE LAVAGE (ch4) :

Le bilan matière d'une chaîne de lavage, en particulier la chaîne 4, peut être schématisée de la manière suivante :



**Figure 21 :chaîne 4 de lavage**

-**Le phosphate brut** déstocké à partir de trémie est introduit dans le débourbeur, avec la surverse de l'hydrocyclone BH3 (qui contient l'eau recyclé de produit), et un système d'eau qui assure le délitage.

-A la sortie du débourbeur, la pulpe est acheminée vers un crible vibrant qui assure la coupure haute à 2.5mm. L'arrosage du produit est fait à partir de la pompe avec un débit 80m<sup>3</sup>/h. Le refus est collecté par le convoyeur puis évacuer par une série de convoyeurs vers **la mise terril (stérile)** alors que le passant du crible est recueilli dans une cuve. à la pointe de cette cuve, une pompe alimente le produit passant vers la partie de classification humide qui fait les coupures suivants :

- partie inférieur à 40µm: c'est **une boue** qui dirigée vers les décanteurs.
- partie compris entre 40µm et 2500µm : c'est **produit lavé.**

### 1) Méthode théorique :

Dans les documents de l'OCP :(une chaîne à l'état normal)

On trouve :

- Tonnage brut : 350t/h
- Tonnage lavé : 318.15/h
- Tonnage de stérile : 13.65 t/h



- Tonnage de boue : 18.2 t/h
- Le rendement de poids : 96.63%

## 2) -méthode pratique :

### -Moyens matériels utilisés :

- Balances.
- Pelles.
- Sachets.
- Seaux.
- Tachymètre (mesure des vitesses).
- Hygromètre à cheveu ou numérique (mesure d'humidité).

### -Moyens humains :

- Un responsable (encadrant).
- Deux ouvriers.

### -procédures :

-Nous avons faits trois essais de mesures, pour chaque essai nous prenons par une pelle des échantillons de longueur 20 cm de produit brut, stérile et produit lavé à partir des convoyeurs d'alimentation, et on multiplie chaque valeur fois 5 pour obtenir la masse sur un mètre.

-nous avons obtenu les vitesses des bandes à partir d'un détecteur qui est lié avec les convoyeurs s'appelle « tachymètre ».

-nous prenons des échantillons d'un kilogramme de chaque produit (brut, lavé, stérile) pour calculer l'humidité de chacun dans le laboratoire par un appareil qui s'appelle hygromètre.

-nous avons déterminé le tonnage des boues par un détecteur qui donne les valeurs direct.

### -Comment déterminer le tonnage sec ;

$$Ts = \text{tonnage} * (1 - \text{humidité})$$

### -C'est quoi l'humidité et comment la mesurer :

L'humidité est la présence de l'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ou dans une substance (pain, produit chimique, ...). Elle peut se mesurer grâce à un **hygromètre à cheveu** ou **numérique** et s'exprime le plus souvent en pourcentage.



|         | Brut                       |            | Lavé                       |            | Stérile                    |            |
|---------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
|         | La masse sur un mètre (kg) | Humidité % | La masse sur un mètre (kg) | Humidité % | La masse sur un mètre (kg) | Humidité % |
| Essai 1 | 53,2                       | 13         | 107,20                     | 30         | 2,12                       | 10         |
| Essai 2 | 55,6                       | 9          | 102,52                     | 26         | 1,62                       | 12         |
| Essai 3 | 54,1                       | 14         | 100,69                     | 19         | 1,9                        | 11         |
| moyenne | 54,3                       | 12         | 103,47                     | 25         | 1,88                       | 11         |

**Tableau 2 :Les résultats des trois essais**

**Résultats moyens :**

- **Brut :** on trouve la vitesse de la bande:  $v = 1.76 \text{ m/s}$   
Et la masse sur un mètre:  $m = 54.3 \text{ kg}$   
D'où le tonnage:  $t = 1.76 * 54.3 * 3.6 = \underline{\underline{344.12 \text{ t/h}}}$   
Le mesure d'humidité du brut donne :  $H1 = 12\%$   
D'où le tonnage sec:  $t_s = t (1-H1) = \underline{\underline{302.82 \text{ t/h}}}$
- **Stérile :** on trouve la vitesse de la bande :  $v = 1.92 \text{ m/s}$   
Et la masse sur un mètre:  $m = 1.88\text{kg}$   
D'où le tonnage:  $t = 1.92 * 1.88 * 3.6 = \underline{\underline{13.01 \text{ t/h}}}$   
Le mesure d'humidité du stérile donne :  $H2 = 11\%$   
D'où le tonnage sec:  $t_s = t (1-H2) = \underline{\underline{11.57 \text{ t/h}}}$
- **Lavé :** On trouve la vitesse de la bande :  $v = 0.84 \text{ m/s}$   
Et la masse sur un mètre :  $m = 103.47 \text{ kg}$   
D'où le tonnage :  $t = 0.84 * 103.47 * 3.6 = \underline{\underline{312.91 \text{ t/h}}}$   
Le mesure d'humidité du lavé donne :  $H3 = 25\%$   
D'où le tonnage sec :  $t_s = t (1-H3) = \underline{\underline{236.325 \text{ t/h}}}$
- Boue :** on trouve un tonnage  $t = \underline{\underline{17.52 \text{ t/h.}}}$



Le rendement poids de la chaîne est déterminé par la relation :

$$R_p = \frac{\text{produit lave sec}}{\text{produit brut sec}} * 100$$

$$R_p = \frac{236.32}{302.82} * 100$$

$$\mathbf{R_p = 78.03\%}$$

**3) Analyse des résultats**

On sait que : dans un circuit  $\sum \text{entrées} = \sum \text{sorties}$

Et d'après la figure 1 :

$\text{Tonnage brut} = \text{tonnage lavé} + \text{tonnage de stérile} + \text{tonnage de boue}$

**D'après les résultats théoriques**

- $\sum \text{entrées} = \text{tonnage brut} = 350 \text{ t/h}$
- $\sum \text{sorties} = \text{tonnage lavé} + \text{tonnage de stérile} + \text{tonnage de boue} = 350 \text{ t/h}$

$$\Rightarrow \sum \text{entrées} - \sum \text{sorties} = 0 \text{ t/h}$$

**→ D'après les résultats pratique**

On a :

Tonnage brut = 344.12 t/h

Tonnage lavé = 312.91 t/h

Tonnage de stérile = 13.01 t/h

Tonnage des boues = 17.51 t/h

- $\sum \text{entrées} = \text{tonnage brut} = 344.12 \text{ t/h}$
- $\sum \text{sorties} = \text{tonnage lavé} + \text{tonnage de stérile} + \text{tonnage de boue} = 343.43 \text{ t/h}$

$$\sum \text{entrées} - \sum \text{sorties} = 344.12 - 343.43 = 0.69 \text{ t/h}$$

0.69 t/h : c'est les pertes d'une seule chaîne.

Donc la moyenne des pertes de 6 chaînes de lavage =  $6 * 0.69 \text{ t/h} = 4.14 \text{ t/h}$

**Remarque :**

On observe que cette valeur est très importante, et le rendement du poids sur terrain diminue, qui exprime le gaspillage de produit.

Donc on va chercher les causes et les solutions pour diminuer ces pertes.

## 1. Les causes probables

On détermine les causes probables à l'aide de la méthode de 5M :

C'est une méthode permettant d'identifier et analyser de façon claire toutes les causes ayant ou pourraient produire l'effet observé sur les 5 axes suivant : (matériel, Main d'œuvre, milieu, méthode, matière)

### -matériel :

- Problème de goujonnage c'est-à-dire l'accumulation de stériles au fond du crible
- Bouchage des buses d'arrosage
- manque de pièce de rechange.



**Figure 21 :Phénomène de goujonnage & Bouchage des buses d'arrosage**

### -Main d'œuvre :

- Négligence de certaines opérations par les agents.
- Manque de maintenance préventive.
- Manque de surveillance continue.

### -Milieu :

- fuite au niveau de la conduite sortie de débourbeur.

### -méthode :

- mauvaise débouillage au niveau de débourbeur.
- mauvaise orientation des buses d'arrosage.

### -Matière :

- phénomène de goujonnage.
- débit instable de phosphate du débourbeur.
- instabilité du produit dans les cuves :



### 5) Les solutions proposées :

- Augmentation de l'angle du cône des cuves.
- Diminution du débit volumique de la pulpe alimentée de débourbeur.
- Nettoyage des buses bouchées
- Utilisation d'un système d'arrosage continu le long de la toile du crible.
- Changement immédiat des ressorts défectueux.
- Ajouter un autre crible pour faire la correction totale de stérile.
- Augmenter la main d'œuvre pour surveiller les chaînes de lavage tous le temps.



## Conclusion générale

L'exigence mondiale et la concurrence a poussé l'Office Chérifien des Phosphates à adopter une politique d'amélioration du rendement des installations pour augmenter la production du phosphate en quantité et en qualité afin de répondre aux besoins des clients ainsi de hausser le niveau de compétitivité dans le marché mondial de phosphate.

Et pour stabiliser le bon fonctionnement des équipements à long terme, il faut diminuer le taux de dégradation de ces équipements, par l'étude des anomalies présentes, et proposer les actions correctives qui vont servir à garantir une pérennité des équipements, une réduction du temps des arrêts et un gain fréquent pour l'entreprise.

Dans ce travail, nous avons essayé de faire un bilan de matière d'une chaîne de lavage au sein de la laverie Merah. L'étude a été portée sur la chaîne 4. Pour cela nous avons d'abord précisé les caractéristiques théoriques de cette chaîne à partir des documents de l'entreprise à savoir tonnage brut, tonnage lavé, tonnage de stérile, tonnage de boue et le rendement de poids. Dans le but de préciser les caractéristiques expérimentalement, trois essais pratiques ont été effectués, pour calculer la moyenne des masses avec l'humidité de chaque produit (brut, lavé, stérile et boue). D'après ces mesures nous avons déterminé le tonnage brut, tonnage stérile, tonnage de la boue, tonnage lavé avec le rendement de poids. Pour cela nous avons fait une petite analyse des résultats pour déterminer les pertes de produit et la comparaison entre le rendement du poids sur terrain avec le rendement théorique. Les pertes qui nous avons obtenues sont très importantes qui sont en moyenne égale de 0.69 t/h, et cela pour une seule chaîne. Une diminution du rendement du poids sur terrain a été également remarquée, ce qui exprime le gaspillage de la matière première. Pour essayer de préciser les origines et causes de ses gaspillages, nous avons utilisé l'outil 5M. Ensuite nous avons proposé des actions correctives. Ses actions vont permettre diminué des pertes de la matière et une amélioration du rendement de poids.



## **BIBLIOGRAPHIE**

- Document interne de l'OCP.
- Formation continu 2012, procédé de lavage Khouribga.
- rapport de stage 2014 (laverie merah).