



Année Universitaire : 2015-2016

**Master Sciences et Techniques GMP  
Génie des Matériaux et des Procédés**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et  
Techniques

**Etude de l'efficacité des cribles et des hydrocyclones  
au sein de la laverie de Maroc Phosphore II**

**Présenté par:**

**MTAHRI Maha**

**Encadré par:**

- Mme I. MEDIA (OCP Safi)
- Mme O. SQALLI (FST Fès)

**Soutenu Le 17 Juin 2016 devant le jury composé de:**

- Mme O. SQALLI
- M. K. MISBAHI
- M. A. ZEROUALE

**Stage effectué à : OCP Safi**



## Dédicace

**À ma belle maman ;**

*Je te remercie d'être toujours présente pour moi et m'encourager tous le temps. Je te remercie de m'avoir montré que l'amour existe bel et bien, tu mérites la meilleure des récompenses, Je t'aime maman.*

**À mon père ;**

*Celui qui m'a appris la patience, à être endurant et à garder la persévérance dans la voie de la recherche et de l'œuvre créatrice, en cultivant au fond de moi la confiance pour achever mes rêves, Je t'aime papa.*

**À ma petite sœur Rania et mon petit frère Nizar ;**

*Les sources de mon inspiration permanente.*

**À ma sœur Jihane et mes frères Mohammed et Badre-eddine ;**

*Je vous remercie pour votre support persistant, que DIEU vous protège et vous guide pour être à la hauteur dans votre parcours universitaire.*

**À ma grand-mère ;**

*La source de tendresse que DIEU te préserve santé et longue vie.*

**À mes précieux amis Dilal DEROUICH, Hamid ERRABOUZ, Youssef EL-ADARISSI ;**

*Je vous dis merci encore mille fois pour votre encouragement et enthousiasme qui a été mon bouffée d'oxygène.*

# Remerciement

Je dis merci à DIEU le sage unique, le puissant et le généreux, d'avoir jouit de la santé pour pouvoir continuer mes études. Je le concilie de me rationaliser dans le bon sens pour me mettre debout et réussir prochainement dans ma carrière professionnelle et achever mes rêves.

Je tiens à remercier Madame MEDIA, la responsable production pour son aide permanant durant ma période de stage.

Je remercie profondément Monsieur ACHIQ, pour son assistance et surveillance tout au long de ma période de déroulement de stage.

J'adresse mes profonds gratitude à Monsieur KANFOUD pour son aide persistant tout au long de mes sorties au chantier.

Je dis merci infiniment à Monsieur HAFASS, Monsieur KHALFAOUI, Monsieur EL-OUAZZANI, Monsieur CHEROUJ, Monsieur MESLOUHI pour leurs assistance et disponibilité.

J'exprime mes cordiales reconnaissances à Madame SQALLI Oufae pour son encadrement pédagogique en permanence et ces conseils intéressants.

Je dis merci aux membres de jury pour leurs contributions à l'évaluation de ma mémoire de fin d'études.

Et bien sûr je me souviens toujours mon honorable faculté « FST de Fès » et ces professeurs compétant, je veux dire merci encore mille fois pour vos riches conseils et renseignements.

## Liste des figures

Figure 1 : Le débourbeur (Trommel 30) .....	5
Figure 2 : Les composants du trommel .....	5
Figure 3 : Les composants d'un hydrocyclone .....	6
Figure 4 : Le filtre à bande .....	6
Figure 5 : phénomène de goujonnage .....	11
Figure 6 : Bouchage des buses d'arrosage .....	11
Figure 7 : Diagramme d'Ishikawa du crible .....	12
Figure 8 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 (ligne I).....	27
Figure 9 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 37 (ligne II).....	27
Figure 10 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 41 (ligne I).....	27
Figure 11 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 44 (ligne I).....	27
Figure 12 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 (ligne II).....	28
Figure 13 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 37 (ligne II).....	28
Figure 14 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 (ligne III).....	28
Figure 15 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 37 (ligne III).....	28
Figure 17 : Dégradation de l'apex .....	32
Figure 16 : Débordement des cuves .....	32
Figure 18 : Diagramme Ishikawa de l'hydrocyclone.....	32
Figure 19 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 de la ligne II .....	37

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Les tranches granulométriques rejetés .....	5
Tableau 2 : Le diamètre de coupure théorique des hydrocyclones .....	6
Tableau 3 : Analyse granulométrique des cribles de la laverie .....	10
Tableau 4 : Récapitulatif pour la détermination de l'efficacité des cribles .....	11
Tableau 5 : Les causes possibles de l'inefficacité du crible (fiche Kaizen) .....	13
Tableau 6 : Détermination des causes réels de l'inefficacité de crible (fiche Kaizen) .....	14
Tableau 7 : Les actions d'améliorations pour gérer l'efficacité du crible .....	15
Tableau 8 : Standard de nettoyage du crible .....	17
Tableau 9 : Standard de vérification des panneaux criblantes .....	19
Tableau 10 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la haute coupure (Ligne I) .....	21
Tableau 11 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la basse coupure (Ligne I) .....	22
Tableau 12 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la haute coupure (Ligne II) .....	23
Tableau 13 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la haute coupure (Ligne III) .....	23
Tableau 14 : Calcul de nombre de partage pour tous les hydrocyclones Weires .....	26
Tableau 15 : Calcul de l'imperfection des hydrocyclones .....	29
Tableau 16 : Comparaison entre le diamètre de coupure expérimentale et théorique .....	30
Tableau 17 : Les pourcentages des grains des hydrocyclones de la haute coupure .....	30
Tableau 18 : Les pourcentages des grains des hydrocyclones de la basse coupure .....	30
Tableau 19 : Les causes possibles de la mauvaise classification de l'hydrocyclone .....	33
Tableau 20 : Détermination des causes réelles (fiche Kaizen) .....	34
Tableau 21 : Standard de suivi du fonctionnement des hydrocyclones de la laverie .....	36
Tableau 22 : Les paramètres de marche et de conception de l'hydrocyclone classificateur .....	38
Tableau 23 : Les paramètres nécessaire pour calculer le diamètre de l'apex minimal .....	40
Tableau 24 : Le pourcentage des pertes en phosphate et le débit massique des boues .....	42
Tableau 25 : Les éléments de la basse coupure rejetés vers la mer .....	45

# Table des matières

Introduction .....	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise .....	2
I.    Présentation de l'OCP.....	2
II.   L'atelier laverie de Maroc Phosphore II .....	3
III.  Les étapes de lavage du phosphate .....	4
IV.  Principe de fonctionnement d'une ligne de lavage .....	7
Problématique.....	8
Chapitre II : Etude de l'efficacité des cribles .....	9
I.    L'analyse granulométrique .....	9
II.   Détermination de l'efficacité des cribles .....	11
III.  Etat des lieux et détermination des causes probables.....	11
IV.  Détermination des causes réels par fiche Kaizen.....	12
V.    Les actions mise en places pour améliorer l'efficacité du crible .....	15
Chapitre III : Etude de l'efficacité des hydrocyclones de la laverie de Maroc Phosphore II .....	20
I.    L'analyse granulométrique .....	20
II.   Détermination de l'imperfection des hydrocyclones .....	24
III.  Les paramètres qui influencent la coupure .....	31
IV.  Etat des lieux et détermination des causes probables.....	32
V.    Détermination des causes réels par fiche Kaizen.....	32
VI.  Les actions mises en place pour améliorer la coupure de l'hydrocyclone .....	35
Chapitre IV: Redimensionnement de l'hydrocyclone classificateur (34) de la ligne II.....	37
I.    Etude expérimentale du diamètre de coupure de l'hydrocyclone 34 .....	37
II.   Etude théorique du diamètre de coupure de l'hydrocyclone 34.....	37
III.  L'écart probable entre la théorie et l'expérimentation.....	39
IV.  Les actions mises en place .....	39
Chapitre V: Evaluation et valorisation des déchets de la laverie .....	42
I.    Les types des déchets de la laverie.....	42
II.   Evaluation économique des pertes en phosphate.....	42
I.1 - Dans les boues argileuses.....	42
I.2 - Dans les stériles .....	43
III.  Valorisation des déchets .....	44
II.1 - Les boues argileuses.....	44
II.2 - Les stériles .....	45
Conclusion générale .....	46
Annexes.....	47
Bibliographie.....	50

# *Introduction*

En vue de répondre aux besoins du marché de plus en plus croissant, l'OCP doit augmenter sa production d'acide phosphorique ce qui est en liaison directe avec l'augmentation de la production du phosphate lavé (la matière première d'acide phosphorique).

L'augmentation du rendement de l'atelier laverie est accompagnée par une amélioration dans le circuit de lavage tout en planifiant une politique fiable pour les équipements de ce circuit. Ces derniers ont connu une détérioration et dégradation avancée suite à l'utilisation permanente de l'eau de mer dans le procédé de lavage.

Dans cet égard mon sujet à vue la lumière dans le contexte d'étudier l'efficacité des cribles et des hydrocyclones de trois lignes de lavage, dans le but d'augmenter le taux de pentoxyde de phosphore dans le produit fini. On cherche à appliquer un plan d'action performant pour arriver en fin de compte à réaliser une coupure à la dimension désirée toute en diminuant les pertes dues aux mauvais fonctionnements des équipements.

Mon projet est divisé en cinq chapitres. Le premier est consacré à la présentation de l'Office Chérifien des Phosphates et le procédé de lavage du phosphate. Le deuxième s'articule autour de traitement de l'efficacité des cribles. Le troisième chapitre est dédié à l'étude de l'imperfection des hydrocyclones. Le quatrième chapitre est destiné au redimensionnement d'un hydrocyclone classificateur. Une étude économique et valorisation des déchets de l'atelier laverie de Maroc Phosphore II est présentée dans le dernier chapitre.

# *Chapitre I : Présentation de l'entreprise*

---

Le groupe OCP soumis aux contraintes du marché mondial, met tout en œuvre pour répondre aux besoins spécifiques de ce marché, et anticiper sur les besoins futur. Il a ainsi développé en permanence le nombre des qualités marchandes de phosphate qu'il exporte directement, et des dérivés qu'il transforme sur place.

Ce chapitre est destiné à la présentation du lieu de déroulement de mon stage, et les étapes du procédé de lavage du phosphate.

---

## **I. Présentation de l'OCP**

Les phosphates, sont la première richesse minière du pays de réserve. Le monopole de l'exploitation et d'exportation est confié à l'Office Chérifien des Phosphates qui exploite les gisements de Khouribga, Ben gézir, Youssoufia et Boucrâa/Laâyoune.

L'Office Chérifien des Phosphates, fondé le 7 août 1920 au Maroc et transformé en 2008 en une société anonyme (OCP SA), est l'un des principaux exportateurs de phosphate brut, d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés dans le monde. Il est installé dans la région DOUKKALA-ABDA depuis le siècle dernier, c'est une longue histoire entre le groupe des phosphates et la ville de Safi devenue industrielle par l'installation en 1965 des premières unités de Maroc phosphore (filiale du groupe OCP) mettant en œuvre les meilleures technologies de valorisation des phosphates et permettant au Maroc d'accéder au rang du premier exportateur des phosphates et produits dérivés.

Maroc phosphore Safi contribue localement au développement socio-économique de la ville de Safi. Il met en œuvre un programme de sous-traitance et d'aide à la création d'entreprises aboutissant à la création d'emplois indirects. Aussi l'OCP allie sa mission économique avec les enjeux environnementaux dans le cadre d'une politique cohérente basée essentiellement sur les concepts de développement durable.

Le pôle chimie de Safi nommé Maroc Phosphore Safi comprend quatre divisions :

- Maroc Chimie.
- Maroc Phosphore I.
- Maroc Phosphore II.
- Infrastructures.

Le déroulement de mon stage de fin d'études est au sein de la division Maroc Phosphore II, et précisément dans la laverie.

**Maroc Phosphore II** : Créée en 1981, Maroc Phosphore II est la division la plus récente du pôle chimie Safi. Elle produit de l'acide phosphorique à partir du phosphate de Benguerir. Elle contient trois services :

1. Service Production : Gère la production au niveau des eaux, vapeur, soufre, phosphate, acide sulfurique et acide phosphorique et englobe :
  - La Laverie ;
  - L'Atelier sulfurique ;
  - L'Atelier phosphorique ;



- L'Atelier énergie et fluides.
2. Service Matériel : gère la maintenance des équipements et des unités de production. Il comporte des secteurs de prestations :
- Entretien Mécanique Sulfurique PCS/MP/MM1 ;
  - Entretien Mécanique Phosphorique PCS/MP ;
  - Service Electronique PSC/PM/ME ;
  - Service Régulation PSC/PM/MR ;
  - Service Bureau d'études PSC/PM/BE ;
  - Service Contrôle Matériel PSC/PM/MC.
3. Service étude et amélioration technique : ces tâches principales
- Assister le chef de la division de Maroc phosphore II dans l'animation et la coordination des services de la division en matière de réalisation des performances des installations.
  - Entamer les études nécessaires, suivre l'évolution technologique et capitaliser toute l'expérience en vue d'orienter les choix techniques pour améliorer les performances de l'outil de production.
  - Contribuer à la prise des décisions dans le choix des technologies, à l'étude, la préparation, l'optimisation, l'harmonisation, la réforme du matériel et la concrétisation des projets de Maroc Phosphore II.

## **II. L'atelier laverie de Maroc Phosphore II**

La laverie a été conçue et réalisée pour l'enrichissement par voie humide des phosphates de Benguerir dans le but de produire un phosphate traité, utilisable en tant que matière première pour la fabrication de l'acide phosphorique au complexe chimique « Maroc Phosphore II ». L'atelier laverie est composé de cinq secteurs :

- **Secteur de déchargement du phosphate :** La «Gare Haute » du Maroc Phosphore II est conçue pour le déchargement des trains destinés à alimenter les complexes CIS, elle est composée de deux parties identiques :
  - La partie située à l'Est, assure le déchargement des trains de phosphate humide criblé (HC) en provenance de Benguerir.
  - La partie située à l'ouest, assure le déchargement des trains de phosphate sec en provenance de Youssoufia.
- **Secteur de manutention du phosphate brut :** Le phosphate brut déchargé au niveau de la station "Gare Haute" est soutiré par le convoyeur BA qui est en liaison avec le convoyeur BC, à la jetée de ce dernier est installée une goulotte à pantalon permettant le stockage du phosphate au choix dans l'un des deux parcs :
  - Le circuit de stockage du parc « EST » est constitué d'une stockeuse et d'une série de convoyeur en cascade BE2- BF2-ST2.
  - Le circuit de stockage du parc « OUEST » est constitué d'une stockeuse et d'une série de convoyeur en cascade BE1- BF1-ST1.

L'alimentation de la laverie est assurée par un circuit de déstockage composé d'une roue-pelle, d'une série de convoyeur en cascade BH-BI-T1-T1bis-T2 et d'une trémie tampon de capacité 400Tonnes.

- **Secteur des lignes de lavage :** La production est assurée par quatre lignes identiques avec une capacité unitaire de 90T/H sèches. L'opération de traitement s'effectue en quatre phases.
- **Secteur de manutention du phosphate lavé :** Le phosphate lavé produit par les lignes de lavage est collecté par le convoyeur T10 qui est en liaison avec le convoyeur T11, déversant le produit dans une trémie tampon (amont stock) de capacité 100Tonnes. Cette dernière permet le stockage du phosphate au choix dans l'un des deux parcs « EST » ou « OUEST ». Elle permet également l'alimentation du broyage par voie directe par le biais de l'extracteur T13C.
  - Le circuit de stockage du parc « EST » est constitué d'une stockeuse et d'une série de transporteurs en cascade T13A-T14EST-T15ESTet T16EST.
  - Le circuit de stockage du parc « OUEST » est constitué d'une stockeuse et d'une série de transporteurs en cascade T13B-T14OUEST-T15OUESTet T16OUEST.

L'alimentation de l'atelier broyage est assurée par une roue pelle moyennant le convoyeur T18 qui alimente une trémie tampon (aval stock) de capacité 100 T. Cette dernière est en liaison avec les trois silos du broyage par les convoyeurs T20A, T21A, T20B, T21B, T20C, et T21C. (Voir annexe 1) [1].

- **Secteur de mise à terril**

- Circuit de mise à terril :

L'évacuation des rejets grossiers est assurée par une série de convoyeurs en cascade, en l'occurrence T9, TRA, TRB, qui permet le stockage sur deux axes au choix. L'axe TRC1, TRC2, et TRC' ou l'axe TRD, TRD' [1].

- Circuit des rejets fins :

Le drainage des rejets fins est assuré par une conduite de diamètre 800 permettant l'évacuation de boues vers la mer. Cette conduite est équipée de 32 regards pour contrôle.

### **III. Les étapes de lavage du phosphate**

Le lavage est un traitement physique par voie humide qui consiste à enrichir le phosphate en éliminant les tranches granulométriques pauvres en BPL (Bone phosphate of line) c'est-à-dire les grosses et les fines particules, tout en tenant compte du rendement poids.

Le procédé de lavage du phosphate de Benguerir (BG) à la laverie de Maroc Phosphore II passe par quatre étapes :

1. **Le débouillage**

C'est la première opération de lavage qui consiste à faire entrer l'eau en parallèle avec le minerai du phosphate pour assurer le malaxage et l'attrition du phosphate au niveau du trommel ou le débouilleur (Figure 1) afin que les grains de phosphate se séparent de leurs gangues argilo-calcaire.

La virole est équipée de 14 raille permettant le malaxage et 14 palettes permettant l'avancement du produit dans le tambour sauf que les trois derniers qui sont au sens opposé afin d'augmenter le temps de séjour (Figure 2).

Lorsque le trommel tourne, les particules de phosphate sont entraînées par des rails contre la paroi interne de la virole à une certaine hauteur ; la pulpe tombe sous forme de pluie et glisse vers l'aval. Cette opération détruit les agrégats de phosphate et libère les grains de l'exo-gangue argilo-calcaire qui les enrobent. L'annexe 1 indique les paramètres de



Figure 1 : Le débourbeur (Trommel 30)

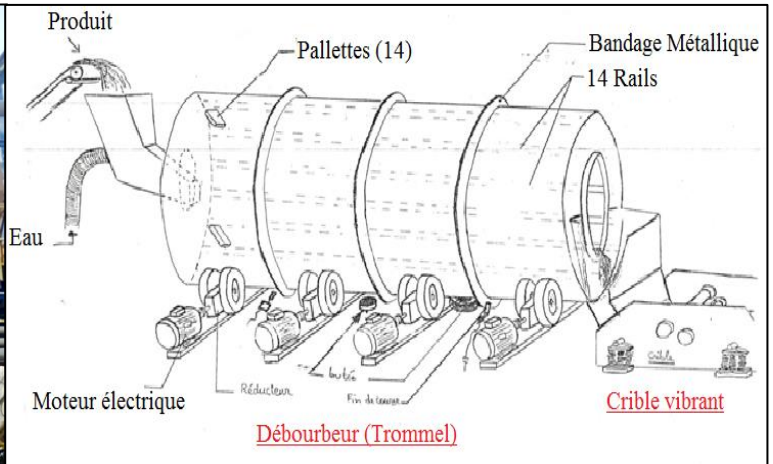


Figure 2 : Les composants du trommel

conception du trommel.

Après le malaxage et l'attrition, on procède à l'élimination des tranches granulométrique pauvres en  $P_2O_5$ , indiqués dans le tableau 1.

Tranches granulométrique	Procédure d'élimination	Evacuation vers
<63 $\mu$ m	Hydrocyclonage (Epaississement)	Caniveau
>3150 $\mu$ m	Criblage	Mise à terril

Tableau 1 : Les tranches granulométriques rejetés

## 2. Le criblage

La pulpe ainsi formée au niveau du débourbeur, passe au crible par débordement pour subir un traitement physique ; c'est une opération de séparation volumétrique consiste à éliminer le stérile pauvre en  $P_2O_5$  (Les grains supérieurs à 3,15 mm) par un crible incliné de ( $5^\circ$ ) afin de garantir le transport requis des produits. Le crible contient des panneaux de polyuréthane (matière synthétique jaune).

L'opération du criblage est accompagnée d'un système d'arrosage par l'eau sous pression, et débit constant ( $80m^3/h$ ) pulvérisée par les buses, afin de libérer les grains phosphatés adhérents à la surface du crible et récupérer les grains attachés au stérile.

## 3. L'hydro-classification

Ce fait en deux étapes successives, la classification et ensuite l'épaississement.

L'hydrocyclone est un classificateur hydraulique composé d'une section cylindrique et une conique (Figure 3) utilisant la force centrifuge pour permettre un classement des particules selon leur masse.

- Les particules pesantes sont entraînées dans la sousverse (les grains supérieurs à la dimension de coupure).
- Les légères particules sont entraînées vers la surverse (les grains inférieurs à la dimension de coupure).
- La surface intérieure de l'hydrocyclone est protégée par un revêtement en caoutchouc afin d'éviter l'usure dû à l'abrasion par les particules de minéral.

Le tableau 2 montre le diamètre de coupure théorique des hydrocyclones classificateurs et épaisseurs de la laverie de Maroc Phosphore II.

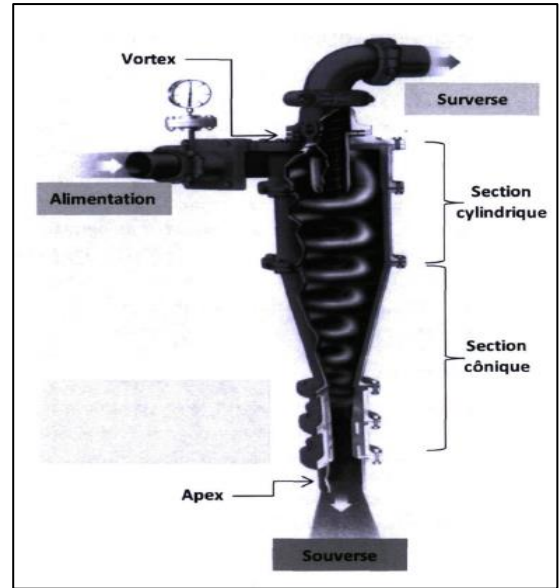


Figure 3 : Les composants d'un hydrocyclone

	Hydrocyclone classificateur	Hydrocyclone épaisseur	Diamètre de coupure
Repère	34	37	125µm
	41	44	63µm

Tableau 2 : Le diamètre de coupure théorique des hydrocyclones

#### 4. La filtration

La filtration est une opération de séparation solide liquide qui permet de séparer le phosphate lavé des eaux de dilution par l'intermédiaire d'une toile de filtration.

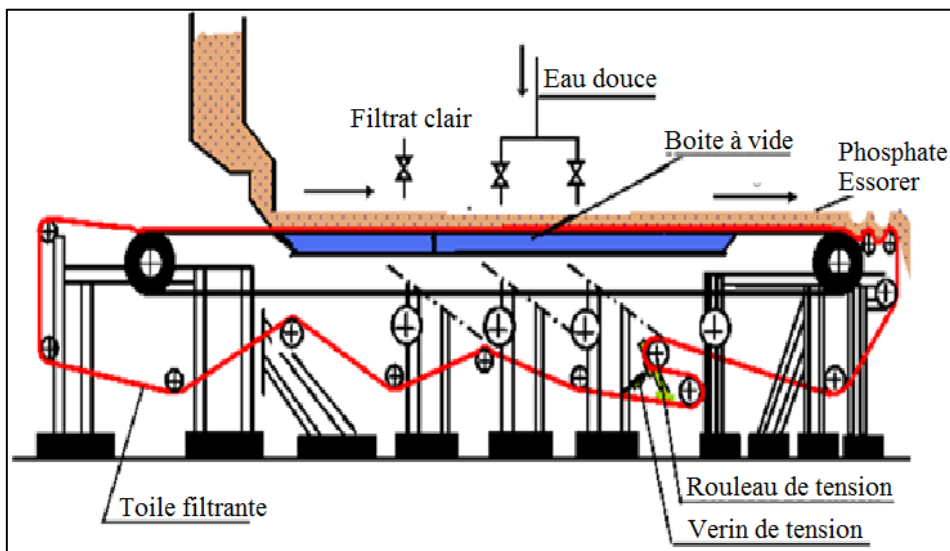


Figure 4 : Le filtre à bande

Le filtre à bande est constitué essentiellement d'une bande en caoutchouc avec rainures transversales, des trous très fines à travers lesquels les filtrats sont acheminés vers la boîte à vide et talons latéraux qui empêchent le débordement du produit sur les flancs du filtre, supportant une toile filtrante en nylon, enroulée sur deux tambours, le tout analogue à un transporteur à courroie. Des boîtes à vide fixe, placées sous la bande, créant une dépression permanente qui permet le passage du liquide à travers la toile filtrante. Cette dernière est entraînée par la bande en caoutchouc, elle reçoit la pulpe à filtrer, le gâteau formé, est rincé par des rampes de lavage avec les filtrats claires puis à l'eau douce, essoré et déchargé à l'extrémité ; la toile quitte alors la bande en caoutchouc, est lavée par des cannes de rinçage ; portée et tendue par des rouleaux. Elle retrouve ensuite la bande et pénètre à nouveau dans la zone d'alimentation de la pulpe (figure 4).

#### **IV. Principe de fonctionnement d'une ligne de lavage**

Le phosphate brut déstocké est introduit dans le trommel (30) (Débourbeur) avec la surverse de l'hydrocyclone secondaire (37) qui assure le délitage.

A la sortie du trommel, la pulpe est acheminée vers un crible vibrant (31) qui assure la coupure haute à 3.15mm. L'arrosage du produit est fait à partir de la pompe (64) avec un débit  $80\text{m}^3/\text{h}$ .

Le refus est collecté par la convoyeur T9 puis évacuer par une série de convoyeurs vers la mise terril alors que le passant du crible est recueilli dans un bidon (32). A la pointe de ce bidon, une pompe (33) alimente l'hydrocyclone (34) qui effectue une coupure à  $125\ \mu\text{m}$ . la surverse de cet hydrocyclone est acheminée vers un bidon collecteur (38), alors que sa sousverse est recueillie dans un bidon collecteur (35). A la pointe de ce bidon, la pulpe est acheminée par la pompe (36) vers l'hydrocyclone secondaire (37) dont la surverse retourne en tête du trommel et la sousverse se dirige vers le filtre à bande.

A la pointe du bidon collecteur (38), une pompe (39) alimente une batterie de quatre hydrocyclones primaires (41) faisant la coupure à  $63\ \mu\text{m}$ . les surverses de ces batteries sont canalisées directement vers les caniveaux de rejet à la mer, tandis que leurs sousverses sont recueillies dans un bidon (42), à partir duquel une pompe (43) prend la pulpe pour alimenter un cyclone secondaire (44).

La surverse de l'hydrocyclone (44) est acheminée vers les caniveaux de rejet à la mer alors que sa sousverse rejoint celle de l'hydrocyclone (37) pour alimenter le filtre à bande.

Le circuit de l'eau de mer comporte un bassin (56) et quatre pompes centrifuges (57) assurant l'alimentation des quatre lignes de lavage, chacune par une bêche de  $20\ \text{m}^3$  de volume.

Le circuit d'eau douce, comporte un bassin et deux pompes centrifuges (60) et (60N) alimentant les quatre lignes (Voir Annexe 2) [2].

# Problématique

La laverie de Maroc phosphore II est destinée pour l'enrichissement des phosphates humides provenant de Benguérir avec un pourcentage de  $P_2O_5$  moyen de 26,6% à un pourcentage moyen de 30,5%. Cet enrichissement nécessite le passage de la matière première par les quatre phases de lavage : le débouillage, le criblage, l'hydro-classification et finalement la filtration.

Mon projet est ciblé sur les deux opérations de classification granulométrique : le criblage et l'hydrocyclonage.

Le travail journalier et la courte durée de vie des équipements, ainsi que les contraintes rencontrées au niveau de ces derniers provoquent la détérioration des machines ce qui cause par la suite une déviation de la dimension de coupure de celle souhaitées. Le phosphate ainsi produit est de mauvaise qualité contenant un pourcentage de stérile et un pourcentage des boues élevées, ce qui ne répond pas aux exigences clientèles.

Pour pallier ces problèmes, on se propose de réaliser une étude de l'efficacité des cribles et des hydrocyclones de la première, la deuxième et la troisième ligne qui possèdent les mêmes types d'équipements.

## *Chapitre II : Etude de l'efficacité des cribles*

---

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'efficacité des cribles de l'atelier laverie de Maroc Phosphore II pour pouvoir proposer des contre-mesures pour cibler l'endroit où peut-on appliquer un plan d'amélioration.

---

### **I. L'analyse granulométrique**

Pour étudier l'efficacité du crible, il est nécessaire en premier temps de prélever deux échantillons représentatifs de passant et de refus en même temps. On suit la procédure suivante pour les lignes I, II et III.

#### ❖ Produits

- Echantillon de passant crible ;
- Echantillon de refus crible (stérile) ;
- Eau sous pression pour l'arrosage.

#### ❖ Appareillage

- Les tamis de diamètre : 10000 $\mu$ m, 6300 $\mu$ m, 5000 $\mu$ m, 3150 $\mu$ m, 1000 $\mu$ m, 200 $\mu$ m, 125 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 80 $\mu$ m, 63 $\mu$ m, 50 $\mu$ m ;
- Papier filtre ;
- Entonnoir ;
- Erlenmeyer ;
- 12 Cristallisoirs ;
- Balance.

#### ❖ Le mode opératoire

- Prendre un échantillon d'un litre de passant de crible et un échantillon d'un kilogramme de refus de crible.
- Verser deux litre d'eau de robinet sur chaque échantillon dans un seau de 5 litres et malaxer manuellement son contenu ;
- Filtrer l'eau surnageant à travers le tamis inférieur tout en gardant la solution passante par ce tamis ;
- Répéter l'opération 2 ou 3 fois jusqu'à ce que l'eau surnageant soit claire et filtrer la solution passante sur un papier filtre déjà séché et taré ;
- Mettre le tamis dont le diamètre d'ouverture le plus croissant dans un autre seau vide et verser le granulat restant dans le premier seau à travers ce tamis ;
- Faire un lavage du phosphate récupéré dans le tamis en question pour forcer le passage du maximum des grains ;
- Faire la même opération pour les autres tamis ;
- Etuver tous les tamis ainsi que le papier filtre dans une étuve réglée à 105°C pendant 4 heures, après refroidissement peser le contenu des tamis ;
- Après séchage et pesage, on calcul la masse total des refus de chaque tamis puis on calcule le pourcentage poids existant dans chaque tranche granulométrique.

❖ Résultat de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse des tranches granulométrique de passant et du refus de crible de chaque ligne sont présentés dans le tableau 3.

Tranches	La ligne I				La ligne II				La ligne III			
	Le Passant		Le Refus		Le passant		Le refus		Le passant		Le refus	
	Masse (g)	Pp (%)	Masse (g)	Pr (%)	Masse (g)	Pp (%)	Masse (g)	Pr (%)	Masse (g)	Pp (%)	Masse (g)	Pr (%)
>10000	0	0,00%	429,7	62,01%	0	0,00%	623,9	72,19%	0	0,00	235,4	45,22%
10000 – 6300	2,5	0,39%	127,8	18,44%	1,1	0,19%	72,4	8,38%	3,8	0,54	183,2	35,19%
6300 – 5000	4,1	0,63%	58,4	8,43%	2,2	0,37%	63,5	7,35%	5,8	0,83	53,3	10,24%
5000 – 3150	48,2	7,44%	60,2	8,69%	40,5	6,83%	82,1	9,50%	55,5	7,91	38,3	7,36%
3150 – 1000	77,5	11,96%	0	0,00%	111,5	18,81%	0	0,00%	43,4	6,18	-	-
1000 – 200	294,75	45,50%	4,5	0,65%	290,1	48,93%	6,7	0,78%	299,4	42,66	2,2	0,42%
200 – 125	112,7	17,40%	1,7	0,25%	78,7	13,27%	2,4	0,28%	146,7	20,90	1	0,19%
125 – 100	26,3	4,06%	0,6	0,09%	20,4	3,44%	0,8	0,09%	32,2	4,59	0,4	0,08%
100 – 80	18,85	2,91%	0,7	0,10%	12,1	2,04%	1,1	0,13%	25,6	3,65	0,3	0,06%
80 – 63	13,2	2,04%	0,8	0,12%	6,3	1,06%	0,9	0,10%	20,1	2,86	0,6	0,12%
63 – 50	5,5	0,85%	1,2	0,17%	4,3	0,73%	1,3	0,15%	6,7	0,95	0,4	0,08%
<50	44,2	6,82%	7,4	1,07%	25,7	4,33%	9,2	1,06%	62,7	8,93	5,5	1,06%
Somme	647,8	100,00%	693	100,00%	592,9	100,00%	864,3	100,00%	701,9	100,00	520,6	100,00%

*Tableau 3 : Analyse granulométrique des cribles de la laverie*



## II. Détermination de l'efficacité des cribles

L'efficacité du crible s'écrit :

$$E = 100 - r - (100 - p) = p - r$$

- p : le passant tamisable ou le pourcentage des grains inférieurs à 3,15 dans le passant.
- r : le passant refus ou le pourcentage des grains inférieurs à 3,15mm entraîné avec le stérile.

Le tableau 4 montre les résultats de calcul de pourcentage des passants tamisable, le pourcentage de phosphate entraîné avec le stérile et l'efficacité de crible pour chaque ligne.

	% passant tamisable (p)	% entraîné avec stérile (r)	Efficacité (%)	Etat du crible
Ligne I	91,54%	2,44%	89,10%	Inefficace
Ligne II	92,61%	2,59%	90,02%	Inefficace
Ligne III	90,72	2%	88,72	Inefficace

*Tableau 4 : Récapitulatif pour la détermination de l'efficacité des cribles*

### Interprétation

Au sein de Maroc Phosphore II l'efficacité des cribles doit être supérieure ou égale 96% [1], ce qui est n'est pas le cas dans la première, la deuxième et la troisième ligne de la laverie.

Le crible de la ligne I n'est pas en bon fonctionnement, parce que le pourcentage en passant entraîné avec le stérile est de 2,44% et le stérile entraîné avec le passant est de 8,46%. De même le crible de la ligne II n'est plus efficace, car le passant contient 7,39% de refus, et le refus contient 2,59% de passant. De même pour la troisième ligne, qui présente un passant contient 9,28% de refus et un refus contient 2% de passant.

## III. Etat des lieux et détermination des causes probables

### A. Etat des lieux

- Problème de goujonnage c'est-à-dire l'accumulation de stériles au fond du Crible (Figure 5) ;
- Bouchage des buses d'arrosage (Figure 6) ;



*Figure 5 : phénomené de goujonnage*



*Figure 6 : Bouchage des buses d'arrosage*

- Débit d'eau d'arrosage n'est pas bien régler ;
- Existence des gros grains supérieurs à 10mm ;
- Enlèvement des panneaux sur crible ;
- Dégradation des panneaux criblant.

### B. Les causes probables

On détermine les causes probables à l'aide du diagramme d'Ishikawa.

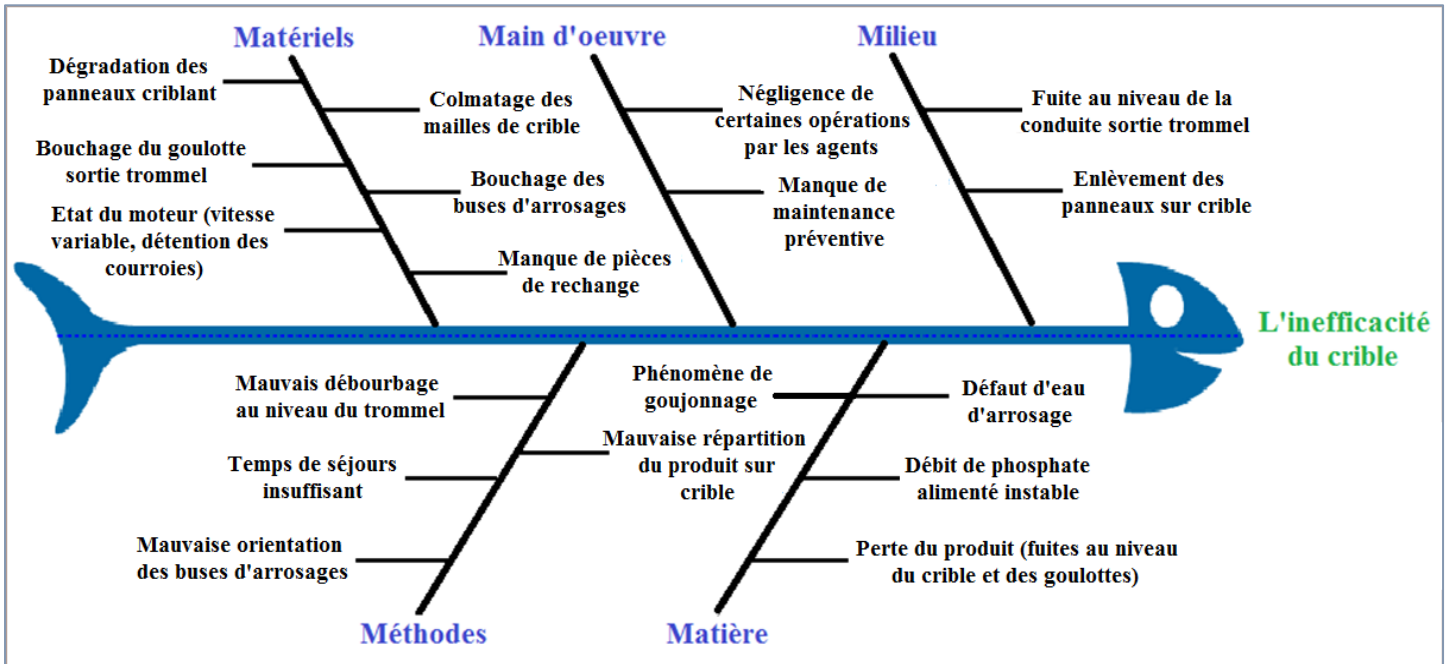


Figure 7 : Diagramme d'Ishikawa du crible

## IV. Détermination des causes réels par fiche Kaizen


La fiche Kaizen est une fiche idée qui sert à matérialiser une difficulté et à en suivre la résolution, dans un esprit d'amélioration continue.

En se basant sur les causes probables citées dans le diagramme d'Ishikawa (Figure 7, Tableau 5) et sur les différentes méthodes de vérification (méthode visuelle, méthode d'analyse granulométrique, mesurage, ampérage) on détermine les causes réelles influençant l'efficacité du crible.

Après la détermination des causes réelles, on les classe par ordre décroissant.

## Fiche Kaizen

Usine : OCP	Chaîne : production	Machine : crible	Préparé par : MTAHRI Maha	Date : 13/05/2016	Version N° 01
-------------	---------------------	------------------	---------------------------	-------------------	---------------

Problème	Causes possibles
<p><b>L'inefficacité du crible</b></p> <p>L'analyse granulométrique du passant et du refus de crible montre l'existence d'un pourcentage des grains supérieurs à 3,15mm dans le passant ainsi qu'un pourcentage des grains de dimensions inférieurs à 3,15mm dans les rejets vers mise à terril.</p> <p>Le résultat de calcul donne une efficacité de moyenne 90% inférieur à 96%.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- L'état du moteur (vitesse et courroies) ;</li> <li>2 - Colmatage des mailles de crible ;</li> <li>3 - Bouchage des buses d'arrosage</li> <li>4- Phénomène de goujonnage</li> <li>5 – Fuite au niveau de la conduite sortie trommel ;</li> <li>6 - Enlèvement des panneaux sur crible ;</li> <li>7 - Mauvais débouillage au niveau du trommel ;</li> <li>8 - Mauvaise répartition du produit sur cible ;</li> <li>9- Perturbation de l'amplitude des éléments vibrant ;</li> <li>10 - Dégradation des panneaux criblant ;</li> <li>11 – Dégradation des ressorts ;</li> <li>12 - Perte du produit (Fuites au niveau du crible et des goulottes) ;</li> <li>13 - Mauvaise orientation des buses d'arrosages ;</li> <li>14 – Sur cadence du phosphate alimenté.</li> </ol>
	

*Tableau 5 : Les causes possibles de l'inefficacité du crible (fiche Kaizen)*

## Fiche Kaizen (Suite)

Actions					Vérification		
Efficace	Fait	Quand	Qui	Contre-mesures	Causes possibles	Méthodes	Résultats
10	Oui	13/04/2016	Chef de poste	Changement des panneaux	1	Vérification des ampèremètres Vérification manuelle des tensions des courroies	×
3	Oui	En cours	CHERROUJ	Débouchage manuelle	2	Visuelle	√
2	Oui	20/04/2016	MTAHRI	Standard de nettoyage	3	Visuelle	√
7	Oui	04/05/2016	Chef de poste	Vérification de l'état interne du trommel	4	Visuelle	√
13	Oui	21/03/2016	Chef de poste	Orientation manuelle	5	Visuelle	×
12	Oui	07/04/2016	Chef de poste	Utilisation de la résine	6	Visuelle	×
4	Oui	16/03/2016	MTAHRI	Sensibilisation des opérateurs sur terrain	7	L'analyse granulométrique	√
					8	Visuelle	×
					9	Mesurage	×
					10	L'analyse granulométrique	√
					11	Visuelle	×
					12	Visuelle	√
					13	Visuelle	√
					14	Mesurage	×

*Tableau 6 : Détermination des causes réels de l'inefficacité de crible (fiche Kaizen)*

Les causes possibles dont le résultat est indiqué par :

× : Sont les causes qui n'ont pas d'influence sur l'efficacité du crible.

√ : Sont les causes réelles, qu'ils ont une influence sur l'efficacité du crible.

Donc les causes réels de l'inefficacité du crible sont les suivants :

- La dégradation des panneaux criblant ;
- Bouchage des buses d'arrosage ;
- Colmatage des mailles de crible ;
- Mauvais débouillage au niveau du trommel ;
- Mauvaise orientation des buses d'arrosages ;
- Perte du produit (Fuites au niveau du crible et des goulottes) ;
- Phénomène de goujonnage.

#### **V. Les actions mise en places pour améliorer l'efficacité du crible**

Le plan d'action proposé pour éviter l'inefficacité du crible se compose de deux volets : volet technique matériel et volet organisationnel.

##### 1. Volet technique matériel

Le tableau 7 est un complément des contre-mesures déjà cité dans la fiche Kaizen.

Problèmes	Causes	Impacts	Actions d'améliorations
Existence des gros grains (>10mm).	Non-respect de la charte par la zone d'extraction (BG).	Diminution de la durée de vie de la toile criblant.	- Demande au fournisseur de respecter la charte. - Control préventif.
Dégradation des panneaux criblant.	Les gros grains qui se trouvent dans l'alimentation.	Passation des grains supérieurs à 3,15mm.	- Changer les panneaux dégradés.
Problème d'arrosage.	Bouchage des buses d'arrosage (Algues et sables).	Passation des petits grains aux stérile.	- Réparation des buses bouchées. - Utilisation d'un système d'arrosage continu le long de la toile du crible.
Enlèvement involontaires des panneaux sur crible.	Cisaillement des travers.	Passation des grains supérieurs à 3,15mm vers bidon collecteur 32.	- Refixation ou changement des travers selon leur état.
Accumulation des stériles au fond du Crible.	Faiblesse d'amortissement des quatre ressorts épaulant le crible.	Concentration des stériles au fond du crible.	- Changement immédiat des ressorts défectueux.

*Tableau 7 : Les actions d'améliorations pour gérer l'efficacité du crible*

## 2. Volet organisationnel

### 2.1. Proposition d'un standard de nettoyage

On propose un standard de nettoyage (Tableau 8 ) pour expliquer à l'opérateur les endroits qui nécessite le nettoyage et les outils nécessaire pour effectuer cette opération après la vérification que les EPI sont en un état permettant la protection des agents contre les risques de l'opération.

Les objectifs de l'exploitation de ce standard sont :

- Réduire le temps des interventions et organiser leurs déroulements ;
- Assurer un environnement favorable du travail pour le personnel ;
- Assurer la disponibilité de la machine (diminution de nombre de panne) ;
- Augmenter la surface criblante par le nettoyage des toiles criblantes ;
- Minimiser le maximum possible le passant refus par un arrosage efficace.

Ce standard de nettoyage nécessite les opérations suivantes :

- Nettoyage de périmètre de l'équipement ;
- Débarrassage de la salissure autour du moteur ;
- Nettoyage des toiles criblantes colmatées ;
- Enlèvement des grains existés entre les mailles ;
- Nettoyage des buses bouchées ;
- Nettoyage total de la machine en externe ;
- Peinture des parois du crible ;
- Nettoyage des ressorts à boudin.



Formulaire

Référence : MHY

Edition : 01

Standard de nettoyage

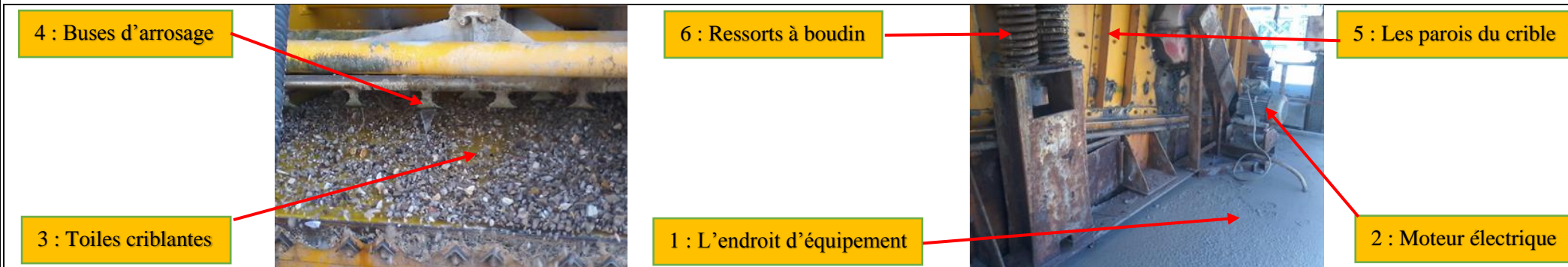
Date : 20/04/16

Page : 1/1

**ETAT REFERENCE DU NETTOYAGE DE CRIBLE (31)**

Entité : MPII

Zone : Secteur lignes de lavage



N°	Tache	Opérations	Ressources		Sécurité		Périodicité/ligne				Responsable
			Humaines	Matérielles	Marche	Arrêt	Poste	Jour	Semaine	mensuel	
1	Nettoyage du crible	Nettoyage de périmètre de l'équipement	1 Agent	Eau sous pression	×		×				Chef d'équipe production
2		Débarrassage de la salissure autour du moteur	1 Agent	Pinceau+ Chiffon		×			×		Chef d'équipe production
3		Nettoyage des toiles criblantes colmatées	1 Agent	Eau sous pression		×			×		Chef d'équipe production
		Enlèvement des grains existés entre les mailles	3 Agents			×			×		Chef d'équipe production
4		Nettoyage des buses bouchées	4 Agents			×			×		Chef d'équipe production
5		Nettoyage total de la machine en externe	1 Agent	Eau sous pression		×				×	Chef d'équipe production
		Peinture des parois du crible	2 Agents	Pinceau		×					Chef d'équipe production
6	Nettoyage des ressorts à boudin	1 Agent	Eau sous pression		×				×	Chef d'équipe production	

*Tableau 8 : Standard de nettoyage du crible*

## 2.2. Proposition d'un standard de vérification des panneaux criblant

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée.

Ce qu'on cherche c'est la fiabilité du crible, il faut gérer le pourcentage de refus passant qui influence sur la qualité du produit fini.

Si le pourcentage des grains supérieurs à  $3150\mu\text{m}$  (le refus passant) est supérieur à 4% [1], le taux de Cadmium et le Silice seront élevée, ceci ne répond pas aux exigences des clients.


En premier lieu l'opérateur doit prendre un échantillon représentatif (un kilogramme) du filtre à bande puis faire l'analyse granulométrique.

L'analyse granulométrique est faite seulement par le seul tamis de  $3150\mu\text{m}$  pour savoir le pourcentage du refus passant dans le produit fini. Si ce pourcentage est supérieur à 4% on passe à la vérification des panneaux criblants en amont et en aval de crible, toute en indiquant le nombre des panneaux et des travers dégradés (Tableau 9).

Avant toute intervention il faut que la ligne entière soit en arrêt et le superviseur porte ces équipements de sécurité pour le protéger contre les risques de l'opération.

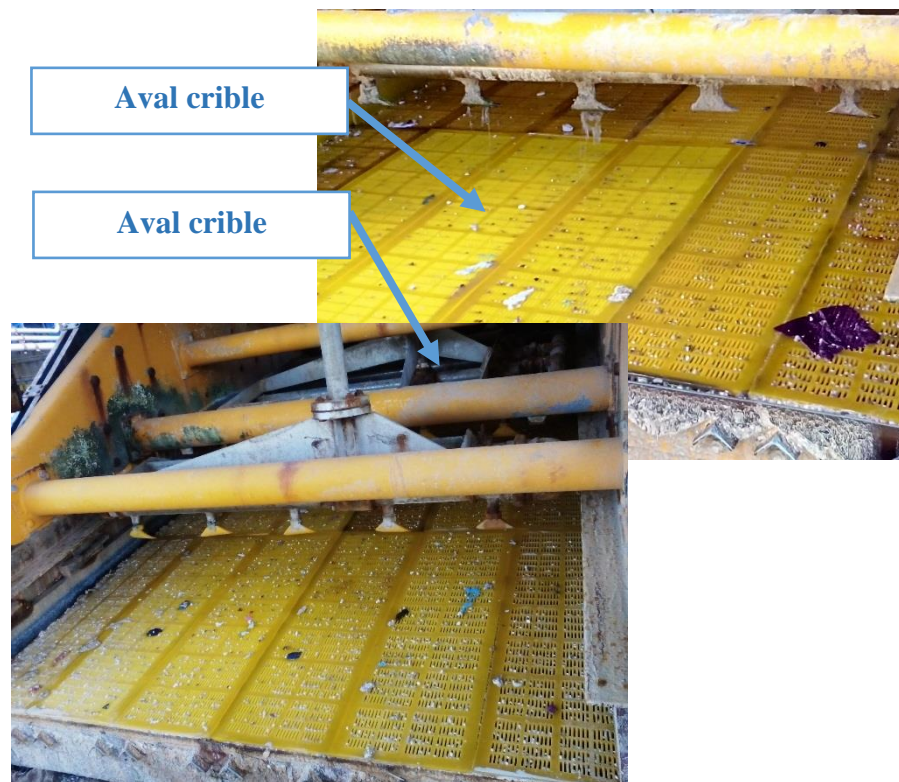


## Standard de vérification des panneaux du crible

 OIS/D/P/L	La date :	L'heure de vérification :
	La ligne N° :	Supervisé par :

- Vérifier les panneaux en amont et en aval du crible.
- Vérifier l'état des travers des panneaux.
- S'il y'a des trous sur les panneaux ou des cisaillements des travers veuillez appeler le service maintenance pour apporter les pièces de rechange et remplacer celles défectueuses.

Nombre des panneaux dégradés	
Nombre des travers dégradés	



*Tableau 9 : Standard de vérification des panneaux criblantes*

## ***Chapitre III : Etude de l'efficacité des hydrocyclones de la laverie de Maroc Phosphore II***

---

Les améliorations qu'on a proposées sur le crible sont en cours d'exécution. On passe maintenant à l'étude des hydrocyclones Weires des trois lignes de la laverie de MPII. Est-ce que ces hydrocyclones effectuent la coupure à la dimension désirée ? Est-ce que les paramètres de conception et d'opérations de ces derniers sont en règle ? Si leur imperfection est dans le domaine de mauvais fonctionnement, peut-on agir sur l'un de ces paramètres pour régler le diamètre de coupure ? Toutes ces questions seront traitées dans ce chapitre.

---

### **I. L'analyse granulométrique**

Il est à signaler que durant la période de ce stage la ligne I est en marche sous la basse coupure (fonctionnement des hydrocyclones (34), (37), (41) et (44)) et que les lignes II et III sont en marche sous la haute coupure (fonctionnement des hydrocyclones (34), (37) seulement).

Pour faire une étude critique de l'imperfection des hydrocyclones, on suit la procédure suivante pour les lignes I, II et III.

On prend deux échantillons de même volume de surverse et de sousverse en même temps et on réalise l'analyse granulométrique.

#### **❖ Produits**

- Echantillon de sousverse (underflow) ;
- Echantillon de surverse (overflow);
- Eau sous pression pour l'arrosage.

#### **❖ Appareillage**

- Les tamis de diamètre : 10000 $\mu$ m, 6300 $\mu$ m, 5000 $\mu$ m, 3150 $\mu$ m, 1000 $\mu$ m, 800 $\mu$ m, 500 $\mu$ m, 250 $\mu$ m, 200 $\mu$ m, 125 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 80 $\mu$ m, 63 $\mu$ m, 50 $\mu$ m ;
- Papier filtre ;
- Entonnoir ;
- Erlenmeyer ;
- 14 Cristallisoirs ;
- Balance.

#### **❖ Le mode opératoire**

- Prendre un échantillon d'un litre de sousverse de surverse de l'hydrocyclone.
- Verser deux litre d'eau de robinet sur chaque échantillon dans un seau de 5 litres et malaxer manuellement son contenu ;
- Filtrer l'eau surnageant à travers le tamis inférieur tout en gardant la solution passante par ce tamis ;
- Répéter l'opération 2 ou 3 fois jusqu'à ce que l'eau surnageant soit claire et filtrer la solution passante sur un papier filtre déjà séché et tarré ;
- Mettre le tamis dont le diamètre d'ouverture le plus croissant dans un autre seau vide et verser le granulat restant dans le premier seau à travers ce tamis ;
- Faire un lavage du phosphate récupéré dans le tamis en question pour forcer le passage du maximum des grains ;
- Faire la même opération pour les autres tamis ;
- Etuver tous les tamis ainsi que le papier filtre dans une étuve réglée à 105°C pendant quatre heures, après refroidissement peser le contenu des tamis.

❖ Résultat de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse des tranches granulométrique de sousverse et de surverse des hydrocyclones Weires de chaque ligne est présentés dans les tableaux 10, 11, 12, 13.

La ligne I	L'hydrocyclone 34				L'hydrocyclone 37			
	La sousverse		La surverse		La sousverse		La surverse	
Tranches (µm)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)
10000-6300	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,07	0,00	0,00
6300-5000	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,14	0,00	0,00
5000-3150	3,30	0,47	0,00	0,00	15,70	1,14	0,00	0,00
3150-1000	34,90	5,01	0,00	0,00	94,00	6,85	0,00	0,00
1000-800	18,30	2,63	0,00	0,00	24,30	1,77	0,00	0,00
800-500	64,00	9,19	0,00	0,00	113,90	8,30	0,00	0,00
500-250	207,50	29,79	0,00	0,00	432,00	31,49	0,00	0,00
250-200	105,30	15,12	1,10	1,42	209,30	15,26	0,00	0,00
200-125	174,50	25,05	4,10	5,30	382,30	27,87	1,00	7,46
125-100	27,30	3,92	4,00	5,17	34,70	2,53	0,80	5,97
100-80	22,40	3,22	9,90	12,81	42,10	3,07	1,10	8,21
80-63	8,60	1,23	9,40	12,16	8,50	0,62	1,00	7,46
63-50	0,80	0,11	1,50	1,94	0,90	0,07	0,30	2,24
<50	29,70	4,26	47,30	61,19	11,10	0,81	9,20	68,66
Somme	696,60	100,00	77,30	100,00	1371,70	100,00	13,40	100,00

*Tableau 10 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la haute coupure (Ligne I)*

La ligne I	L'hydrocyclone 41				L'hydrocyclone 44			
	La sousverse		La surverse		La sousverse		La surverse	
Tranches (µm)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)
10000-6300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6300-5000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5000-3150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3150-1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1000-800	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
800-500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500-250	1,40	0,84	0,00	0,00	1,50	0,22	0,00	0,00
250-200	2,30	1,38	0,00	0,00	7,50	1,10	0,00	0,00
200-125	18,90	11,30	0,00	0,00	49,90	7,32	0,00	0,00
125-100	13,50	8,07	0,00	0,00	136,90	20,08	0,00	0,00
100-80	24,70	14,77	0,80	1,57	190,80	27,98	0,00	0,00
80-63	37,70	22,55	1,20	2,36	77,10	11,31	0,20	1,36
63-50	4,60	2,75	1,10	2,17	92,50	13,57	0,20	1,36
<50	64,10	38,34	47,70	93,90	125,60	18,42	14,30	97,28
Somme	167,20	100,00	50,80	100,00	681,80	100,00	14,70	100,00

*Tableau 11 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la basse coupure (Ligne I)*

La ligne II	L'hydrocyclone 34				L'hydrocyclone 37			
	La sousverse		La surverse		La sousverse		La surverse	
Tranches (µm)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)
10000-6300	0,6	0,04	0	0,00	1,9	0,15	0	0,00
6300-5000	0,9	0,07	0	0,00	3,4	0,28	0	0,00
5000-3150	22	1,59	0	0,00	32,7	2,65	0	0,00
3150-1000	138,6	10,04	0	0,00	151,4	12,25	0	0,00
1000-800	33,1	2,40	0	0,00	35,1	2,84	0	0,00
800-500	114,4	8,29	0	0,00	108,5	8,78	0	0,00
500-250	112,7	8,17	0	0,00	262,7	21,25	0	0,00
250-200	422,3	30,60	0	0,00	170,7	13,81	0,5	1,94
200-125	414,8	30,06	4,3	4,90	345,6	27,96	2,9	11,24
125-100	40,7	2,95	4,2	4,78	41,6	3,37	2,1	8,14
100-80	27,7	2,01	6,9	7,86	48,9	3,96	3,8	14,73
80-63	13,3	0,96	5,1	5,81	15,7	1,27	2,8	10,85

63-50	3,1	0,22	11	12,53	5,5	0,44	1	3,88
<50	35,7	2,59	56,3	64,12	12,5	1,01	12,7	49,22
Somme	1379,9	100	87,8	100	1236,2	100,00	25,8	100,00

*Tableau 12 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la haute coupure (Ligne II)*

La ligne III	L'hydrocyclone 34				L'hydrocyclone 37			
	La sousverse		La surverse		La sousverse		La surverse	
Tranches (µm)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)	Masse Ui (g)	Pui (%)	Masse Oi(g)	Poi (%)
10000-6300	3,1	0,13	0	0,00	0,7	0,03	0	0,00
6300-5000	4,1	0,17	0	0,00	4,3	0,20	0	0,00
5000-3150	50,6	2,08	0	0,00	66	3,03	0	0,00
3150-1000	269,1	11,04	0	0,00	358,7	16,45	0	0,00
1000-800	53,3	2,19	0	0,00	83,6	3,83	0	0,00
800-500	160,6	6,59	0,3	0,10	237,7	10,90	0	0,00
500-250	384,2	15,76	2,9	1,00	483,7	22,19	0,3	0,82
250-200	281,9	11,56	3,5	1,21	297,3	13,64	0,6	1,64
200-125	784,9	32,20	30,8	10,63	507,4	23,27	5,3	14,48
125-100	187,7	7,70	20,1	6,94	73,6	3,38	3,4	9,29
100-80	109,8	4,50	30,4	10,49	39,3	1,80	5,2	14,21
80-63	34,5	1,42	13	4,49	11,2	0,51	3,4	9,29
63-50	14,1	0,58	28,5	9,84	5,7	0,26	1,6	4,37
<50	99,7	4,09	160,2	55,30	11	0,50	16,8	45,90
Somme	2437,6	100,00	289,7	100,00	2180,2	100,00	36,6	100,00

*Tableau 13 : Analyse granulométrique des hydrocyclones de la haute coupure (Ligne III)*

## II. Détermination de l'imperfection des hydrocyclones

L'étude du bon fonctionnement des hydrocyclones est basée sur l'utilisation de la courbe de partage. La pente de la courbe de partage présente l'imperfection de l'hydrocyclone qui caractérise leur fonctionnement.

Dans le domaine de bon fonctionnement la valeur de l'imperfection doit être supérieure à 0,2 et inférieure à 0,45. Lorsque l'imperfection tend vers zéro, la courbe de partage s'approche d'une classification idéale, et lorsqu'elle est supérieure à 0,45 c'est à dire que l'hydrocyclone est en mauvais fonctionnement.

$$\text{L'imperfection s'écrit : } I = \frac{d_{75} - d_{25}}{2 \times d_{50}}$$

Avec ;

- $d_{25}$  : dimension des grains de l'alimentation ayant une probabilité de 25 % de passer dans la sousverse.
- $d_{50}$  : dimension des grains de l'alimentation ayant une probabilité de 50 % de passer dans la sousverse.
- $d_{75}$  : dimension des grains de l'alimentation ayant une probabilité de 75 % de passer dans la sousverse.

Afin de chercher l'imperfection de l'hydrocyclone, il faut tracer la courbe de partage pour déterminer  $d_{25}$ ,  $d_{50}$  et  $d_{75}$ .

On peut déterminer le nombre de partage (Y) généralement par la relation :

$$Y = \frac{U_i \times P_{ui}}{A_i \times P_{Ai}} \times 100, \text{ Avec :}$$

- $A_i, P_{Ai}$  : Sont respectivement le débit et le pourcentage de la tranche granulométrique  $i$  dans l'alimentation de l'hydrocyclone ;
- $U_i, P_{ui}$  : Sont respectivement le débit et le pourcentage de la tranche granulométrique  $i$  dans la sousverse (underflow) de l'hydrocyclone ;
- $O_i, P_{oi}$  : Sont respectivement le débit et le pourcentage de la tranche granulométrique  $i$  dans la surverse (overflow) de l'hydrocyclone.

Sachons que :

- Le bilan matière global s'écrit :  $A_i = U_i + O_i$
- Le bilan matière partiel s'écrit :  $A_i \times P_{Ai} = U_i \times P_{ui} + O_i \times P_{oi}$

$$\text{Donc : } Y_i = \frac{U_i \times P_{ui}}{(U_i \times P_{ui}) + (O_i \times P_{oi})} \times 100$$

$$\Rightarrow Y_i = \frac{\frac{U_i}{A_i} \times P_{ui}}{\left(\frac{U_i}{A_i} \times P_{ui}\right) + \left(\frac{O_i}{A_i} \times P_{oi}\right)} \times 100$$

$$\text{Le rendement poids moyen s'écrit : } R_m = \frac{U_i}{A_i} = \frac{A_i - O_i}{A_i} = 1 - \frac{O_i}{A_i}$$

$$\text{Donc : } \frac{O_i}{A_i} = 1 - R_m$$

$$\text{On pose : } G = \frac{U_i}{A_i} \times P_{Ui} = R_m \times P_{Ui} \text{ et } H = \frac{O_i}{A_i} \times P_{Oi} = (1 - R_m) \times P_{Oi}$$

$$\text{Donc : } Y = \frac{G}{G + H} \times 100$$

Les valeurs de G et H seront déduites à partir des données des tableaux 10, 11,12 et 13. Ces valeurs permettent de déduire le nombre de partage pour chaque tranche granulométrique des différents hydrocyclones (Tableau 14).

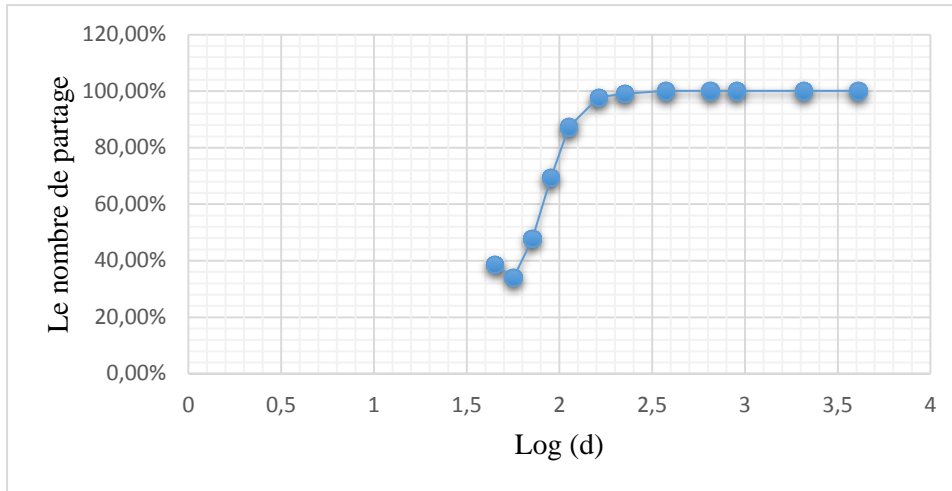
<i>Le nombre de partage (Y)</i>									
		La ligne I				La ligne II		La ligne III	
Centre des tranches (d)	Log (d)	L'hydrocyclone 34	L'hydrocyclone 37	L'hydrocyclone 41	L'hydrocyclone 44	L'hydrocyclone 34	L'hydrocyclone 37	L'hydrocyclone 34	L'hydrocyclone 37
8150	3,91	-	100,00%	100,00%	-	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
5650	3,75	-	100,00%	100,00%	-	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4075	3,61	100,00%	100,00%	100,00%	-	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
2075	3,32	100,00%	100,00%	100,00%	-	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
900	2,95	100,00%	100,00%	100,00%	-	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
650	2,81	100,00%	100,00%	100,00%	-	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
375	2,57	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,95%	100,00%
225	2,35	98,97%	100,00%	99,71%	100,00%	100,00%	99,71%	99,87%	99,98%
162,5	2,21	97,71%	99,74%	99,17%	100,00%	98,97%	99,17%	98,72%	99,35%
112,5	2,05	87,23%	97,75%	95,19%	100,00%	90,65%	95,19%	91,20%	88,72%
90	1,95	69,37%	97,45%	92,79%	100,00%	80,06%	92,79%	60,79%	48,95%
71,5	1,85	47,69%	89,48%	84,86%	99,74%	72,28%	84,86%	45,56%	15,41%
56,5	1,75	33,82%	76,18%	84,62%	99,78%	21,99%	84,62%	2,83%	17,56%
45	1,65	38,55%	54,70%	49,60%	89,78%	38,80%	49,60%	4,40%	0,71%

*Tableau 14 : Calcul de nombre de partage pour tous les hydrocyclones Weires*

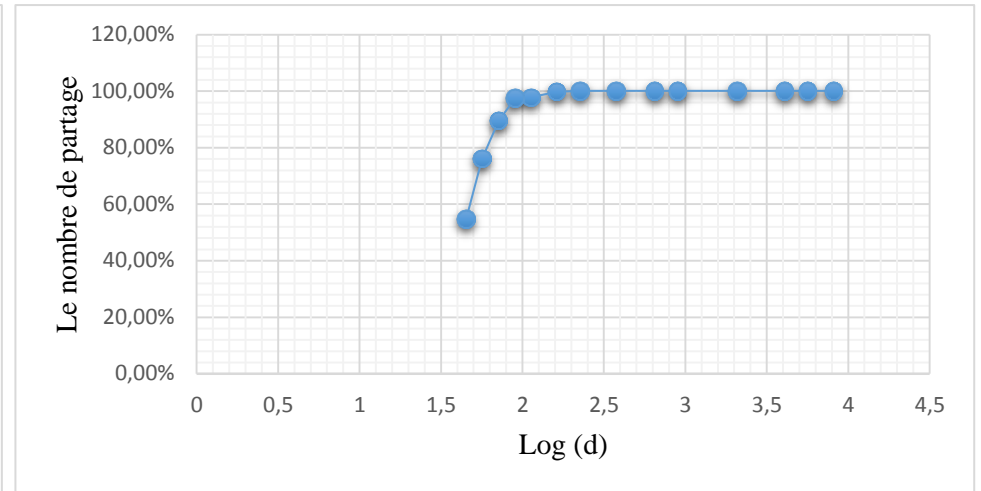
On trace ensuite les courbe de partages pour les huit hydrocyclones étudiés (figures 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16) qui représente le nombre de partage en fonction de Log(d) avec (d est le centre des tranches granulométrique).



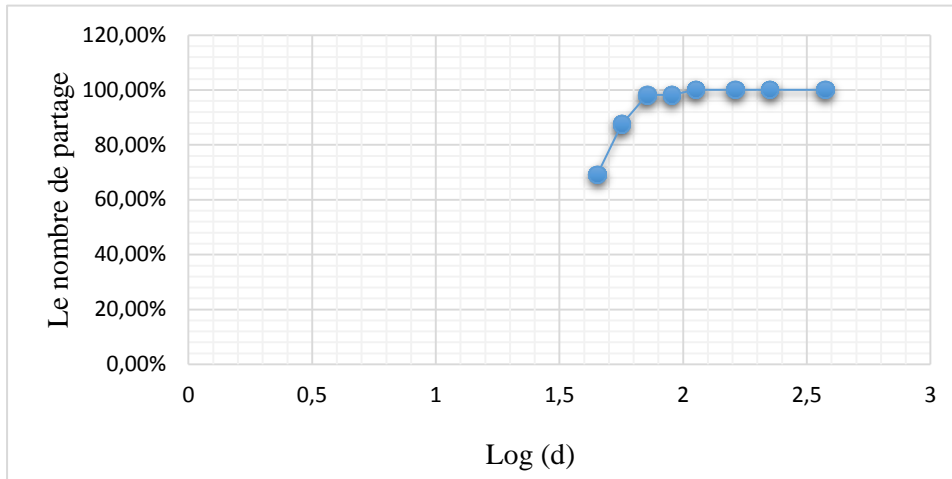
**La ligne I**



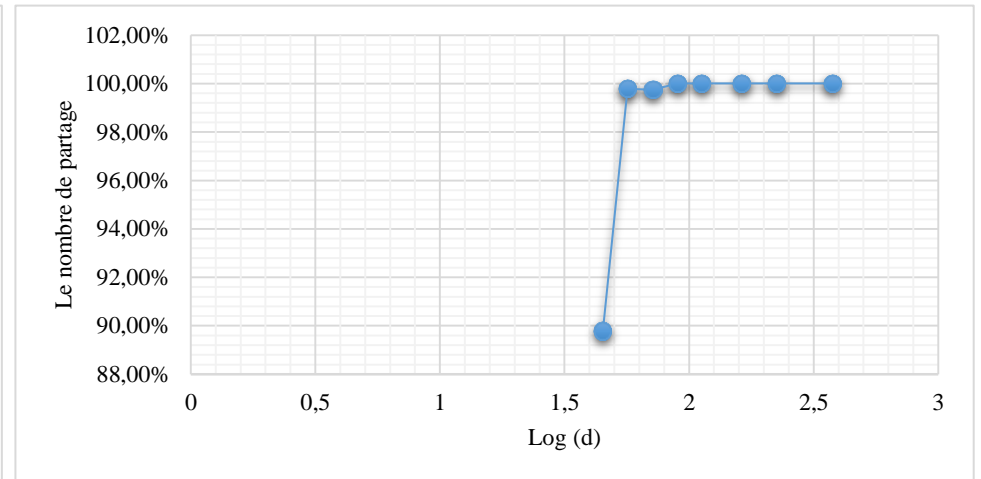
*Figure 8 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 (ligne I)*



*Figure 9 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 37 (ligne II)*



*Figure 10 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 41 (ligne I)*



*Figure 11 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 44 (ligne I)*

## Ligne II

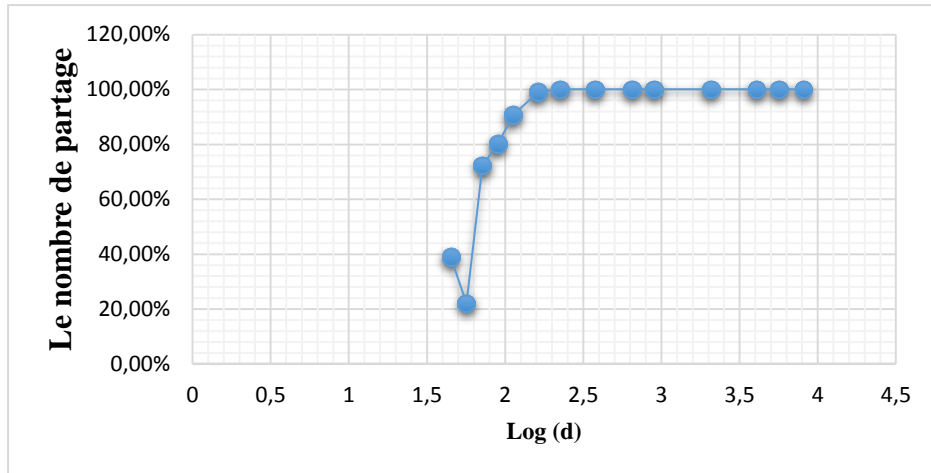


Figure 12 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 (ligne II)

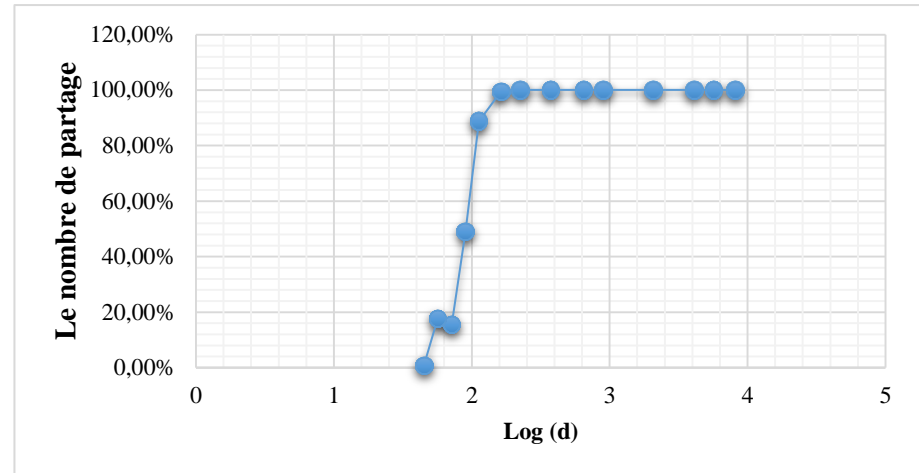


Figure 13 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 37 (ligne II)

## Ligne III

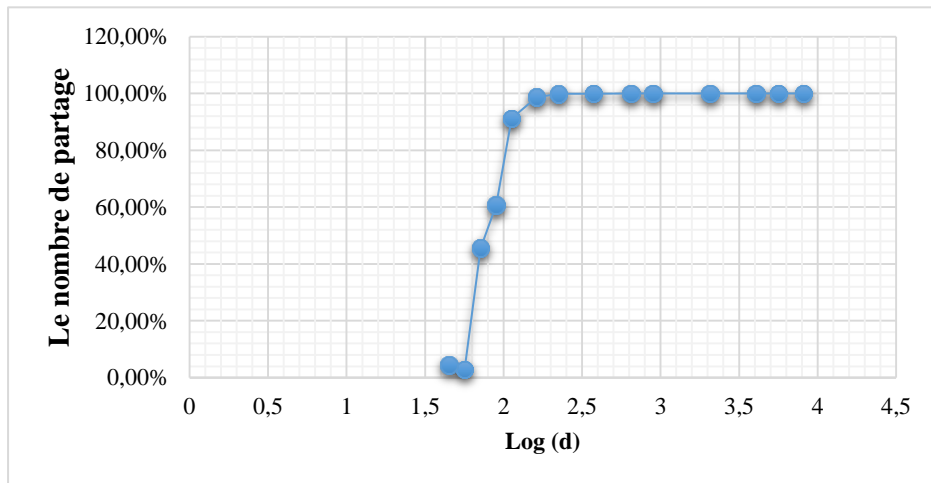


Figure 14 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 (ligne III)

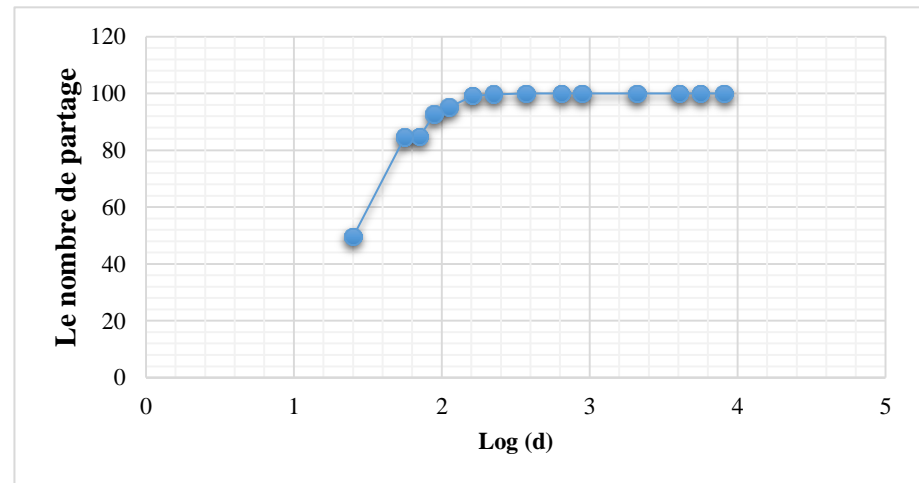


Figure 15 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 37 (ligne III)

Et on détermine à partir des courbes de partage les diamètres  $d_{25}$ ,  $d_{50}$  et  $d_{75}$  pour chaque hydrocyclone de différentes lignes (Tableau 15). Ces diamètres nous conduit au calcul de l'imperfection I par la relation suivante :

$$I = \frac{d_{75} - d_{25}}{2 \times d_{50}}$$

	La ligne I				La ligne II		La ligne II	
Référence de l'hydrocyclone	34	37	41	44	34	37	34	37
Logd25	-	-	-	-	1,72	-	1,749	1,75
d25 (µm)	-	-	-	-	52,48	-	56,234	56,1
Logd50	1,82	-	-	-	1,8	1,4	1,875	1,937
d50 (µm)	66,07	-	-	-	63,095	25,12	75	86,56
Logd75	2	1,75	1,69	-	1,9	1,7	2,06	2,1
d75 (µm)	100	56,23	48,98	-	79,433	50,12	116,712	122,253
L'imperfection (I)	Impossible de calculer I	Impossible de calculer I	Impossible de calculer I	Impossible de calculer I	0,213	Impossible de calculer I	0,403	0,382

*Tableau 15 : Calcul de l'imperfection des hydrocyclones*

### Interprétations

On ce qui concerne le fonctionnement des hydrocyclones, les hydrocyclones (34), (37), (41) et (44) de la première ligne ne possèdent pas de  $d_{25}$ , ce qui ne permet pas de calculer leurs imperfections. Pour la ligne II, le calcul de  $d_{50}$  de l'hydrocyclone classificateur (34) conduit à une valeur de 0,213, il est donc en bon fonctionnement par contre l'hydrocyclone épaisseur (37) ne possède pas de  $d_{25}$  pour déterminer son imperfection. Pour la troisième ligne, les hydrocyclones (34) et (37) sont dans le domaine de bon fonctionnement, leurs imperfection est de 0,403 et 0,382 respectivement.

Les valeurs de la dimension de coupure expérimentale  $d_{50}$  (Tableau 15) pour tous les hydrocyclones des différentes lignes sont inférieures à la dimension de coupure théorique souhaitée (Tableau 16).

Le numéro de la ligne	La référence de l'hydrocyclone	Le diamètre de coupure théorique ( $\mu\text{m}$ )	Le diamètre de coupure expérimentale ( $\mu\text{m}$ )
Ligne I	34	125	66,07
	37		-
	41	63	-
	44		-
Ligne II	34	125	63,095
	37		25,12
Ligne III	34	63	75
	37		86,56

*Tableau 16 : Comparaison entre le diamètre de coupure expérimentale et théorique*

Dans la sousverse des hydrocyclones (34) et (37) on ne doit avoir que les grains supérieurs à  $125\mu\text{m}$  alors qu'il existe un pourcentage des grains inférieurs à  $125\mu\text{m}$ . De même dans la surverse on ne doit avoir que les grains inférieurs à  $125\mu\text{m}$  alors qu'il y'a un pourcentage des grains supérieurs à  $125\mu\text{m}$  (Tableau 17).

Le numéro de la ligne	La référence de l'hydrocyclone	Le pourcentage des grains inférieurs à $125\mu\text{m}$ dans la sousverse (%)	Le pourcentage des grains supérieurs à $125\mu\text{m}$ dans la surverse (%)
Ligne I	34	12,74	6,72
	37	7,1	7,46
Ligne II	34	38,79	4,90
	37	10,05	13,18
Ligne III	34	18,29	12,94
	37	6,45	16,94

*Tableau 17 : Les pourcentages des grains des hydrocyclones de la haute coupure*

On ce qui concerne les hydrocyclones (41) et (44) qui effectuent la coupure à  $63\mu\text{m}$ . Le tableau 18 montre les pourcentages des grains inférieurs à  $63\mu\text{m}$  et supérieurs à  $125\mu\text{m}$  dans la sousverse qui doivent être à la surverse, et les pourcentages des grains supérieurs à  $63\mu\text{m}$  dans la surverse qui doivent être à la sousverse des hydrocyclones (41) et (44) de la première ligne.

La référence de l'hydrocyclone	Le pourcentage des grains supérieurs à $125\mu\text{m}$ dans la sousverse (%)	Le pourcentage des grains inférieurs à $63\mu\text{m}$ dans la sousverse (%)	Le pourcentage des grains supérieurs à $63\mu\text{m}$ dans la surverse (%)
41	13,52	41,09	3,93
44	8,64	31,99	1,36

*Tableau 18 : Les pourcentages des grains des hydrocyclones de la basse coupure*

### **III. Les paramètres qui influencent la coupure**

#### *1. Les paramètres de conception [3]*

- **Le diamètre de l'hydrocyclone** : pour le classement d'un minerai grossier il sera préférable d'utiliser un hydrocyclone de diamètre supérieur à celui qui serait retenu pour le traitement d'un minerai fin.
- **Le diamètre de la buse d'alimentation** : un agrandissement de l'ouverture de la buse d'alimentation entraîne une augmentation de la capacité de traitement, mais diminue la qualité de la classification et augmente la dimension de coupure.
- **Le diamètre de vortex (buse de surverse)** : le vortex est l'ouverture de l'hydrocyclone à travers lequel les particules fines sont évacuées. Un vortex plus large accroît la capacité de traitement ainsi que la maille de coupure, c'est à dire que la distribution granulométrique de la surverse devient plus grossière avec l'augmentation de l'ouverture du vortex.
- **Le diamètre de l'apex (buse de sousverse)** : l'apex est l'orifice de l'hydrocyclone à travers lequel les particules grossières sont déchargées à la sousverse. Le choix du diamètre de l'apex a un effet sur la capacité de traitement de solides et la fraction de solides se retrouvant en sousverse. un apex bien dimensionné doit donner une décharge en parapluie.
- **Hauteur de l'hydrocyclone** : plus la hauteur est élevée, plus le temps de séjour des particules est élevé donc meilleure est la capacité de traitement, mais la classification serait négativement affectée par la diminution de la force tangentielle.
  - H : La distance entre le sommet du cylindre et le sommet de l'apex.
  - h : La distance entre le sommet du cylindre et le sommet de la section conique (la hauteur de la section cylindrique).
- **Angle du cône** : cet angle diminue en fonction de la longueur de la section conique. Plus l'angle diminue, plus la maille de coupure est fine. Elle varie habituellement entre 15 et 30°.
- **Revêtement intérieur de l'hydrocyclone** : rappelons qu'un hydrocyclone est alimenté sous pression. Afin d'éviter l'usure de la paroi interne de l'hydrocyclone par les particules, la paroi métallique est protégée par un revêtement en caoutchouc. Avec le temps, le revêtement peut s'user ce qui peut avoir un impact sur la qualité de la classification.

#### *2. Variables d'opération d'un hydrocyclone [3]*

- **Pourcentage en solides de la pulpe** : le pourcentage en solides de la pulpe alimentée est la variable d'opération ayant le plus d'effet sur la performance d'un hydrocyclone. Son augmentation a pour effet d'accroître la maille de coupure mais diminue légèrement l'efficacité de séparation, Une augmentation de la concentration de solides de la pulpe d'alimentation a un effet immédiat sur le partage et conduit à une surverse plus fine et une sousverse plus grossière et aussi plus concentrée en solides.
- **Débit volumique de la pulpe d'alimentation** : un débit de pulpe alimentée constant est une condition préalable au bon fonctionnement d'un hydrocyclone. Une augmentation du débit accroît la capacité de traitement et diminue la dimension de coupure.
- **Température de la pulpe** : Son augmentation entraîne une coupure fine et le soutirage augmente avec l'augmentation de la température.
- **Viscosité de la pulpe** : Lorsque la viscosité de la pulpe augmente, les particules fines sont alors entraînées à la sousverse, ce qui entraîne une augmentation de la maille de coupure.

#### IV. Etat des lieux et détermination des causes probables

##### 1. *Etat des lieux*

- Débordement des cuves (Figure 16) ;
- Dégradation de l'apex (Figure 17) ;
- Fuites sur les alimentateurs et les coudes des surverses ;
- Revêtement usé ;
- Manque de pièces de rechange.



Figure 17 : Débordement des cuves



Figure 16 : Dégradation de l'apex

##### 2. *Les causes probables :*

Les causes probables de la mauvaise classification sont montrées dans le diagramme d'Ishikawa (Figure 18).

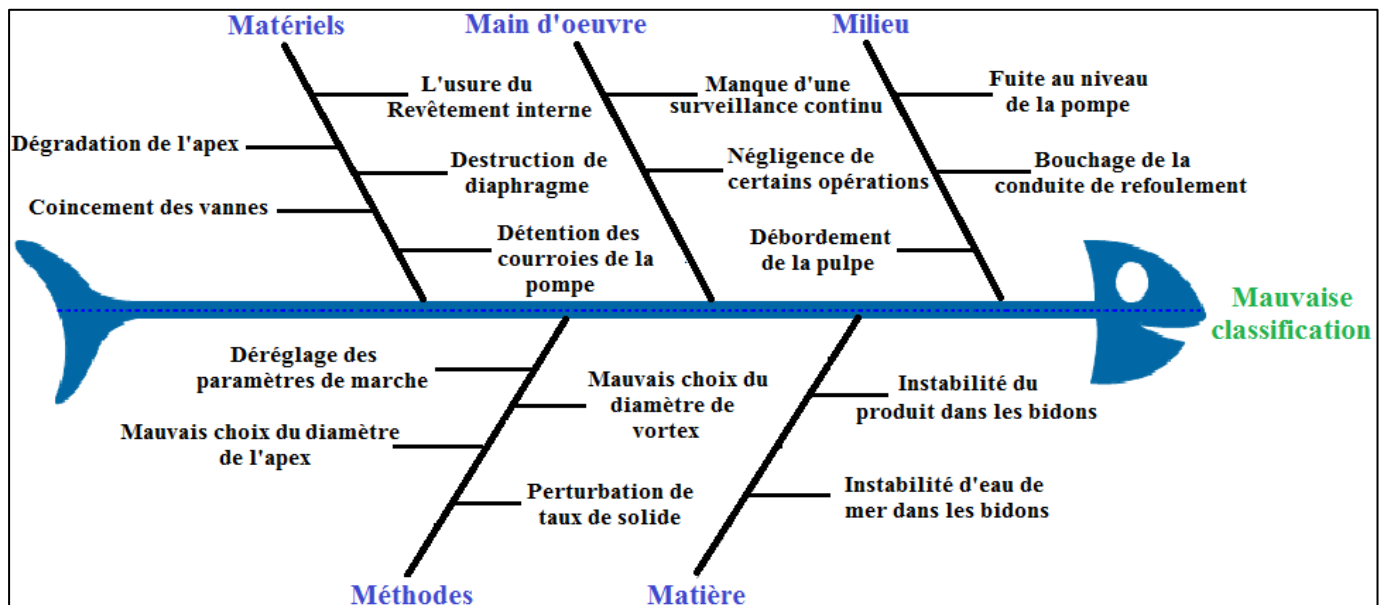





Figure 18 : Diagramme Ishikawa de l'hydrocyclone

#### V. Détermination des causes réels par fiche Kaizen

On détermine les causes réelles de la mauvaise classification de l'hydrocyclone par fiche Kaizen (Tableaux 19 et 20), et on cherche les actions pour améliorer la situation actuelle.

## Fiche Kaizen

Usine : OCP	Chaine : production	Machine : Hydrocyclone	Préparé par : MTAHRI Maha	Date : 19/05/2016	Version N° 01
-------------	---------------------	------------------------	---------------------------	-------------------	---------------

Problème	Causes possibles
<p><b>Mauvaise classification</b></p> <p>L'analyse granulométrique d'un échantillon représentatif de sousverse et de la surverse des hydrocyclones Weires montre que ces derniers n'effectuent pas la coupure à la dimension souhaitée. Ce qui ne répond pas aux exigences de l'atelier phosphorique.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Dégradation de l'apex ;</li> <li>2 – L'usure du revêtement interne ;</li> <li>3– Destruction du diaphragme ;</li> <li>4 – Détention des courroies de la pompe ;</li> <li>5 –Le choix du diamètre de l'apex et de vortex ;</li> <li>6- Fuite au niveau de la pompe ;</li> <li>7 - Bouchage de la conduite de refoulement ;</li> <li>8 – Coincement des vannes ;</li> <li>9- Perturbation de taux de solide ;</li> <li>10 – Instabilité du produit dans les bidons ;</li> <li>11 – Instabilité d'eau de mer dans les bidons ;</li> <li>12 – Débit d'alimentation instable ;</li> <li>13 – Débordement des cuves ;</li> <li>14 – Déréglage des paramètres de marche.</li> </ol>
	
	

*Tableau 19 : Les causes possibles de la mauvaise classification de l'hydrocyclone*

## Fiche Kaizen (suite)

Actions					Vérification		
Efficace	Fait	Quand	Qui	Contre-mesures	Causes possibles	Méthodes	Résultats
14	Oui	11/05/2016	Chef de poste	Réglage des paramètres de marche	1	Vérification visuelle	√
5	Oui	25/05/2016	MTAHRI	Redimensionnement de l'hydrocyclone	2	Vérification visuelle	×
9	Oui	05/04/2016	Chef de poste	Réglage de la vitesse de pompe	3	Mesurage	×
12	Oui	29/02/2016	Chef de poste	Réglage de la vitesse de pompe	4	Vérification visuelle	×
1	Oui	29/03/2016	Chef de poste	Changement de l'apex	5	Mesurage par décamètre	√
6	Oui	07/04/2016	CHEROUJ	Arrêt de la ligne et réglage de la fuite	6	Vérification visuelle	√
13	Oui	13/04/2016	Chef de poste	Diminuer le débit d'eau dans le bidon collecteur	7	Vérification visuelle	×
					8	Vérification visuelle	×
					9	Mesurage	√
					10	Vérification visuelle	×
					11	Vérification visuelle	×
					12	Mesurage par débitmètre	√
					13	Vérification visuelle	√
					14	Mesurage	√

*Tableau 20 : Détermination des causes réelles (fiche Kaizen)*

Les causes possibles dont le résultat est indiqué par :

× : Sont les causes qui n'ont pas d'influence sur le diamètre de coupure de l'hydrocyclone.

√ : Sont les causes réelles, qu'ils ont une influence sur le diamètre de coupure de l'hydrocyclone.



Donc les causes réels de l'imperfection de l'hydrocyclone sont :

- Déréglage des paramètres de marche ;
- Le choix du diamètre de l'apex et de vortex ;
- Perturbation de taux de solide ;
- Débit d'alimentation instable ;
- Dégradation de l'apex ;
- Fuite au niveau de la pompe ;
- Débordement des cuves.

## **VI. Les actions mises en place pour améliorer la coupure de l'hydrocyclone**

### 1. Volet technique matériel :

Pour augmenter la dimension de coupure des hydrocyclones Weires, il faut :

- Augmenter le diamètre de l'hydrocyclone ;
- Augmenter le diamètre de vortex ;
- Diminuer le diamètre de l'apex ;
- Augmenter la hauteur de l'hydrocyclone ;
- Augmenter l'angle du cône ;
- Augmenter le taux de solide dans le bidon collecteur ;
- Diminution du débit volumique de la pulpe alimentée.

Cependant, il ne faut pas changer les paramètres de base de l'hydrocyclone (le diamètre de l'hydrocyclone, la hauteur de l'hydrocyclone, l'angle du cône). De même il ne faut pas diminuer le débit volumique de la pulpe alimentée car ceci influence sur la quantité de phosphate produite par heure. Donc pour augmenter la maille de coupure de l'hydrocyclone, on ne peut agir que sur les trois paramètres :

- Le diamètre de vortex ;
- Le diamètre de l'apex ;
- Le taux de solide dans le bidon collecteur.

### 2. Volet organisationnel : Standard de suivi du fonctionnement des hydrocyclones

Puisque tous hydrocyclones n'effectuent pas la coupure à la dimension désirée, on propose d'établir un standard de suivi pour cet équipement (Tableau 21). Pour suivre le fonctionnement d'un hydrocyclone d'une telle ligne, il faut prélever un échantillon représentatif de sousverse et de surverse, indiquer la ligne, l'heure et la date de prélèvement, le repère de l'hydrocyclone ainsi que leurs paramètres de marche et de conceptions. Après traçage de la courbe de partage on indique aussi les diamètres  $d_{25}$ ,  $d_{50}$  et  $d_{75}$  et puis l'imperfection de l'hydrocyclone.

## Standard de suivi du fonctionnement des hydrocyclones



**OIS /D/PL**

Date : \_\_\_\_\_  
 Heure : \_\_\_\_\_  
 Ligne : \_\_\_\_\_  
 Repère d'Hydrocyclone : \_\_\_\_\_ Classificateur  Epaisseur

**Paramètres de marche :**

<b>Débit volumique</b>	m <sup>3</sup> /h
<b>Pression</b>	bar
<b>Température</b>	°C
<b>Taux de solide</b>	

**Paramètres de conception :**

<b>Diamètre de l'apex</b>	mm
---------------------------	----

**Imperfection**

<b>D25</b>	µm
<b>D50</b>	µm
<b>D75</b>	µm
<b>I</b>	

**Résultats d'analyse :**

Tranches (µm)	Alimentation		Sous verse		Surverse	
	masse	% masse	masse	% masse	masse	% masse
>10000						
10000 - 6300						
6300 - 5000						
5000 - 3150						
3150 - 1000						
1000 - 800						
800 - 500						
500 - 250						
250 - 200						
200 - 125						
125 - 100						
100 - 80						
80 - 63						
63 - 50						
<50						

**Sécurité :** Porter et vérifier que les EPI sont en un état permettant la protection des agents contre les risques de l'opération.

*Tableau 21 : Standard de suivi du fonctionnement des hydrocyclones de la laverie*

## Chapitre IV: Redimensionnement de l'hydrocyclone classificateur (34) de la ligne II

Pour savoir précisément sur quels paramètres il faut agir pour améliorer la coupure de l'hydrocyclone, on propose de faire le redimensionnement d'un hydrocyclone classificateur (34), on a choisi la ligne II pour réaliser ce travail.

Bien choisir le début nous donne un coup de pouce pour arriver à une bonne fin, de même le choix des paramètres de début de l'hydro-classification (La haute coupure) est une étape très importante.

Lors du redimensionnement de l'hydrocyclone (34), on doit toujours tenir compte des deux objectifs principaux de la séparation :

- Effectuer une séparation à la dimension souhaitée : 125 $\mu$ m.
- Traiter le volume de matière souhaité : 540m<sup>3</sup>/h.

### I. Etude expérimentale du diamètre de coupure de l'hydrocyclone 34

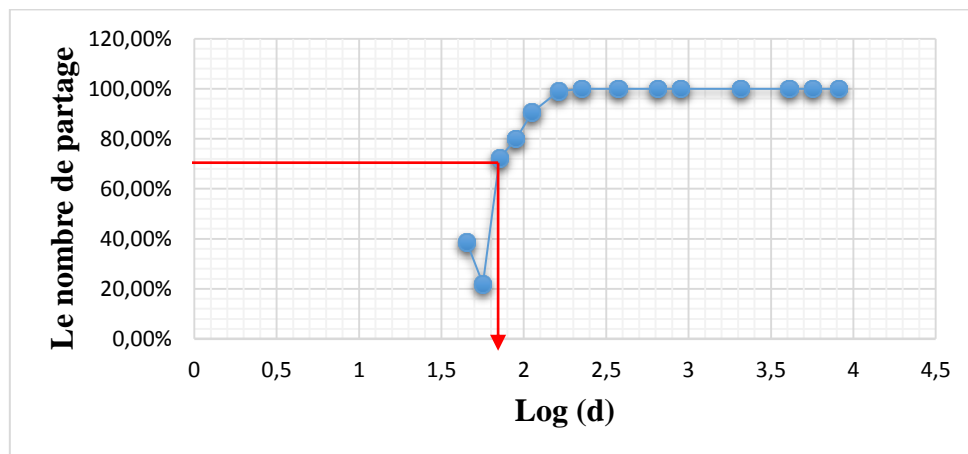


Figure 19 : La courbe de partage de l'hydrocyclone 34 de la ligne II

La figure 19 montre que l'hydrocyclone (34) de la ligne II qu'on a supposé effectuer une coupure de 125  $\mu$ m ; réalise une coupure de :  $d_{50(\text{exp})} = 63,095 \mu\text{m}$ .

### II. Etude théorique du diamètre de coupure de l'hydrocyclone 34

Les hydrocyclones de la laverie sont alimentés tangentiellement sous pression c'est pour cette raison leur dimensionnement est basé sur le modèle de Plitt utilisé par le constructeur [4]. La maille de coupure corrigée est écrite :

$$d_{50c} = \frac{2587 \times D_c^{0,46} \times D_{sr}^{1,21} \times D_e^{0,6} \times \exp(0,063 \times \varphi)}{D_s^{0,71} \times h^{0,38} \times Q^{0,45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0,5}}$$

Le tableau 22 englobe les paramètres dont on a besoin pour ce calcul [4].

Le paramètre	Signification	La valeur
Dc	Le diamètre de la partie cylindrique	0,8 m
Dsr	Le diamètre de vortex	0,19 m
Ds	Le diamètre de l'apex	0,15 m
De	Le diamètre de tube d'alimentation	0,146 m
w	La fraction massique de solides dans l'alimentation	36 %
h	La hauteur de l'hydrocyclone	2,07 m
Q	Le débit volumique de l'alimentation de pulpe	540 m <sup>3</sup> /h
$\rho_l$	La masse volumique de l'eau de mer	1026 Kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	La masse volumique du solide	3140 Kg/m <sup>3</sup>

*Tableau 22 : Les paramètres de marche et de conception de l'hydrocyclone classificateur*

On détermine la fraction volumique du solide ( $\varphi$ ), sachant que :

$$\varphi = \frac{V_s}{V_p} \times 100 \quad \text{Et} \quad w = \frac{M_s}{M_p} \times 100$$

$$\text{Avec : } V_s = \frac{M_s}{\rho_s} \quad \text{et} \quad V_l = \frac{M_l}{\rho_l}$$

$$\text{Donc : } \varphi = \frac{\frac{M_s}{\rho_s}}{\frac{M_s}{\rho_s} + \frac{M_l}{\rho_l}} \times 100$$

On introduit la masse de pulpe  $M_p$  ;

$$\rightarrow \varphi = \frac{\frac{M_s}{M_p \times \rho_s}}{\frac{M_s}{M_p \times \rho_s} + \frac{M_l}{M_p \times \rho_l}} \times 100$$

$$\rightarrow \varphi = \frac{\frac{w}{\rho_s}}{\frac{w}{\rho_s} + \frac{100-w}{\rho_l}} \times 100$$

$$\rightarrow \varphi = \frac{w \times \rho_l}{(w \times \rho_l) + [\rho_s \times (100 - w)]} \times 100$$

$$\rightarrow \varphi = \frac{36 \times 1026}{(36 \times 1026) + [3140 \times (100 - 36)]} \times 100$$

→  $\varphi = 15,53\%$

On revient pour calculer la dimension de coupure théorique  $d_{50c}$  :

$$d_{50c} = \frac{2587 \times 0,8^{0,46} \times 0,19^{1,21} \times 0,426^{0,6} \times \exp(0,063 \times 15,53)}{0,15^{0,71} \times 2,07^{0,38} \times \left(\frac{540}{3600}\right)^{0,45} \times (3140 - 1026)^{0,5}}$$

→  $d_{50c} = 74,33\mu m$

La coupure théorique de l'hydrocyclone classificateur est de 74,33 $\mu m$ , mais réellement réalise une coupure à 63,095 $\mu m$ .

Dans le but de déduire la coupure théorique qu'il faut prendre en compte dans le calcul des paramètres de l'hydrocyclone pour réaliser une classification à 125 $\mu m$ . On passe par l'écart probable entre la théorie et l'expérimentation.

### **III. L'écart probable entre la théorie et l'expérimentation**

$$E = \frac{d_{50c} - d_{50(\text{exp})}}{d_{50(\text{exp})}} \times 100 = \frac{74,33 - 63,095}{63,095} \times 100 = 17,81\%$$

Lors du redimensionnement de l'hydrocyclone, on tient compte de l'erreur entre le calcul théorique et l'expérimentation : 17,81%

On cherche le diamètre de coupure corrigé qu'il faut tenir compte dans le calcul théorique.

$$\text{On sait que : } E = \frac{d_{50c} - d_{50(\text{exp})}}{d_{50(\text{exp})}} \times 100$$

$$\text{Donc : } (d_{50c} - d_{50(\text{exp})}) \times 100 = E \times d_{50(\text{exp})}$$

$$\rightarrow d_{50c} = d_{50(\text{exp})} + \left[ \frac{E \times d_{50(\text{exp})}}{100} \right]$$

$$\rightarrow \text{AN : } d_{50c} = 125 + \left[ \frac{17,81 \times 125}{100} \right]$$

→  $d_{50c} = 147,26 \mu m$

### **IV. Les actions mises en place**

On peut agir sur plusieurs paramètres pour augmenter la coupure de l'hydrocyclone, parmi ces actions il y'a : la diminution du diamètre de l'apex, l'augmentation de diamètre de vortex et la diminution de la vitesse de la pompe 33.

- La diminution du diamètre de l'apex ( $D_s$ )

On essaie d'arriver à une valeur de diamètre de l'apex inférieure à 150mm et supérieure au diamètre de l'apex minimal.

On détermine l'expression de  $D_s$  à partir de la relation de  $d_{50c}$  :

$$d_{50c} = \frac{2587 \times D_c^{0,46} \times D_{sr}^{1,21} \times D_e^{0,6} \times \exp(0,063 \times \varphi)}{D_s^{0,71} \times h^{0,38} \times Q^{0,45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0,5}}$$

$$D_s = \left[ \frac{2587 \times D_c^{0,46} \times D_{sr}^{1,21} \times D_e^{0,6} \times \exp(0,063 \times \varphi)}{d_{50c} \times h^{0,38} \times Q^{0,45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0,5}} \right]^{\frac{1}{0,71}}$$

$$D_s = \left[ \frac{2587 \times 0,8^{0,46} \times 0,19^{1,21} \times 0,426^{0,6} \times \exp(0,063 \times 15,53)}{147,26 \times 2,07^{0,38} \times \left(\frac{540}{3600}\right)^{0,45} \times (3140 - 1026)^{0,5}} \right]^{\frac{1}{0,71}}$$

Donc :  $D_s = 0,05727m = 57,27mm$

On passe à la détermination du diamètre de l'apex minimal :

$$D_{s,min} = 0,3372 - \frac{417,3}{2650 - \rho_s + (100 \times \frac{\rho_s}{w_s})} + (0,02794 \times Ln \frac{Q'_s}{\rho_s})$$

Sachant que le débit massique de la sousverse s'écrit :  $Q'_s = (R_s \times Q_s) + (R_l \times Q_l)$

Le tableau 23 englobe les différentes données nécessaires pour calculer le diamètre de l'apex minimal [4].

La fraction massique du solide dans la sousverse	$w_s = 67,7 \%$
Le pourcentage de solide acheminé vers la sousverse	$R_s = 90\%$
Le pourcentage d'eau acheminé vers la sousverse	$R_l = 43\%$
Le débit massique de solide à l'alimentation	$Q_s = 132 T/h$
Le débit massique d'eau à l'alimentation	$Q_l = 244 \times 1,026 = 250,344 T/h$

*Tableau 23 : Les paramètres nécessaire pour calculer le diamètre de l'apex minimal*

Donc  $Q'_s = (0,9 \times 132) + (0,43 \times 250,344) = 226,45 T/h$

$$D_{s,min} = 0,3372 - \frac{417,3}{2650 - 3140 + (100 \times \frac{3140}{67,7})} + (0,02794 \times Ln \frac{(\frac{226,45 \times 10^3}{3600})}{3140})$$

Alors :  $D_{s,min} = 0,12734m = 127,34 mm$

Puisque  $D_s < D_{s,min}$  donc cette action et non envisageable, on passe alors à l'action suivante de l'augmentation du diamètre de vortex.

- L'augmentation du diamètre de vortex ( $D_{sr}$ )

On sait que :  $d_{50c} = \frac{2587 \times D_c^{0,46} \times D_{sr}^{1,21} \times D_e^{0,6} \times \exp(0,063\varphi)}{D_s^{0,71} \times h^{0,38} \times Q^{0,45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0,5}}$

D'où :  $D_{sr} = \left[ \frac{d_{50c} \times D_s^{0,71} \times h^{0,38} \times Q^{0,45} \times (\rho_s - \rho_l)^{0,5}}{2587 \times D_c^{0,46} \times D_e^{0,6} \times \exp(0,063\varphi)} \right]^{\frac{1}{1,21}}$

$$AN : D_{sr} = \left[ \frac{147,26 \times 0,15^{0,71} \times 2,07^{0,38} \times \left(\frac{540}{3600}\right)^{0,45} \times (3140 - 1026)^{0,5}}{2587 \times 0,8^{0,46} \times 0,426^{0,6} \times \exp(0,063 \times 15,53)} \right]^{\frac{1}{1,21}}$$

Donc :  $D_{sr} = 0,33429m = 334,29mm$

Donc pour augmenter le diamètre de coupure à  $125 \mu m$  il faut augmenter le diamètre de vortex de 190mm (diamètre actuel) à 334mm.

- La diminution de la vitesse de pompe de refoulement (33)

Lors de fonctionnement de l'hydrocyclone classificateur (34) on remarque une décharge tantôt en boudin tantôt en parapluie ce qui est anormal, le mode de décharge et en relation permanente avec la vitesse de refoulement de la pompe. Lorsque cette vitesse est importante, le niveau de bidon collecteur (32) diminue, ce qui pousse les agents conducteurs d'usine d'augmenter le débit d'eau de dilution dans le bidon et par conséquent le taux de solide diminue et puis le diamètre de coupure diminue aussi.

### *Interprétation*

Dans le but d'augmenter la dimension de coupure de l'hydrocyclone classificateur de  $63,095\mu m$  jusqu'à  $125\mu m$ , il faut augmenter le diamètre de vortex de 190mm à 334mm. Et diminuer la vitesse de pompe de refoulement pour stabiliser le niveau de pulpe dans le bidon collecteur et son débit d'eau de dilution et donc on assure aussi l'augmentation de taux de solide ce qui conduit à l'augmentation de la maille de coupure.

# Chapitre V: Evaluation et valorisation des déchets de la laverie

La gestion des rejets est une préoccupation majeure pour l'industrie minière, car il forme une grande source de matières premières et son valorisation sert à résoudre plusieurs problèmes environnementaux.

Ce chapitre est consacré pour l'étude des déchets industriels de la laverie :

- Les boues argileuses évacuées vers caniveaux ;
- Les stériles rejetés vers mise à terril.

## I. Les types des déchets de la laverie

Il existe deux types des déchets dans la laverie :

- Les boues argileuses (Figure 20) : Les grains inférieurs à 63 $\mu$ m évacué par caniveau ; c'est-à-dire les surverses des hydrocyclones 41 et 44.
- Le stérile (Figure 21) : sont des grains de diamètre supérieure à 3,15mm et dont la teneur en métal recherché ( $P_2O_5$ ) est trop faible, il est entrainé vers mise à terril.



Figure 20 : Les boues argileuses évacuées vers caniveaux



Figure 21 : Les grains supérieurs à 3,15mm évacuées vers mise à terril

## II. Evaluation économique des pertes en phosphate

### 1.1 - Dans les boues argileuses

Le tableau 24 englobe les valeurs de pourcentage moyen de phosphate évacué vers caniveau ainsi que le débit massique de pulpe pour les surverses des hydrocyclones de la basse coupure (41) et (44).

	Pourcentage moyen de phosphate évacué vers caniveaux	Le débit massique de pulpe
Surverse de l'hydrocyclone 41	3,93%	30 Tonnes/h
Surverse de l'hydrocyclone 44	1,36%	4,2 Tonnes/h

Tableau 24 : Le pourcentage des pertes en phosphate et le débit massique de pulpe des boues argileuses



Le temps de marche réel des lignes par an :  $T_R = 333 \text{ jours} = 333 \times 24 = 7992 \text{ Heures}$

#### **Pour l'hydrocyclone 41**

- La masse de pulpe évacuée vers caniveaux par an :

On a :  $Q_m = 30 \text{ Tonnes/h}$

$$M_{\text{pulpes}} = Q_m \times T_R = 7992 \times 30 = 239760 \text{ Tonnes}$$

- La masse nette de phosphate perdu par an :

$$M_{\text{nette}} = \% (\text{Phosphate perdu})_{\text{moyen}} \times M_{\text{pulpe}} = 0,0393 \times 239760 = 9422,57 \text{ Tonnes}$$

- Le coût des pertes :

$$C_{\text{pertes}} = 1200 \times M_{\text{nette}} \text{ (Car le coût d'un tonne de phosphate est : 1200 DH)}$$

$$C_{\text{pertes}} = 1200 \times 9422,57 = 11,31.10^6 \text{ DH}$$

#### **Pour l'hydrocyclone 44**

- La masse de pulpe évacuée vers caniveaux par an :

On a :  $Q_m = 4,2 \text{ Tonnes / h}$

$$M_{\text{pulpes}} = Q_m \times T_R = 7992 \times 4,2 = 33566,4 \text{ Tonnes}$$

- La masse nette de phosphate perdu par an :

$$M_{\text{nette}} = \% (\text{Phosphate perdu})_{\text{moyen}} \times M_{\text{pulpe}} = 0,0136 \times 33566,4 = 456,5 \text{ Tonnes}$$

- Le coût des pertes :

$$C_{\text{pertes}} = 1200 \times M_{\text{nette}} \text{ (Car le coût d'un tonne de phosphate est : 1200 DH)}$$

$$C_{\text{pertes}} = 1200 \times 493,43 = 547,80.10^3 \text{ DH}$$

Les pertes économiques globales de phosphate entraîné avec les boues des quatre lignes de lavage.

$$C_{\text{globales}} = 4 \times (547,80.10^3 + 11,31.10^6) = 47,43.10^6 \text{ DH}$$

#### ***1.2 - Dans les stériles***

- Le temps de marche réel des lignes par an :  $T_R = 333 \times 24 = 7992 \text{ Heures}$
- Le pourcentage moyen de phosphate entraîné avec le stérile : 2%
- Le débit massique de stérile par heure

La masse du stérile le long d'un mètre du convoyeur est : 2,7 Kg/m

Avec la vitesse du convoyeur du Stérile : 1,33 m/s

Le débit massique en second est :  $Q_m = 2,7 \text{ Kg/m} \times 1,33 \text{ m/s} = 3,591 \text{ Kg/s}$

Le débit massique en Tonnes par heure est :

$$Q_m = 3,591 \times 10^{-3} \times 3600 = 12,9276 \text{ Tonnes/heure}$$

- La masse de stérile produite par an

$$M_{\text{total de stérile}} = Q_m \times T_R = 7992 \times 12,9276 = 103317,38 \text{ Tonnes}$$

- La masse nette de phosphate perdu par an :

$$M_{\text{nette}} = \% (\text{Phosphate perdu})_{\text{moyen}} \times M_{\text{total de stérile}} = 0,02 \times 103317,38 = 2066,35 \text{ Tonnes}$$

- Le coût des pertes :

$$C_{\text{pertes}} = 1200 \times M_{\text{nette}} \quad (\text{Car le coût d'un tonne de phosphate est : 1200 DH})$$

$$C_{\text{pertes}} = 1200 \times 2066,35 = 2,48.10^6 \text{ DH}$$

### Interprétation

Le coût des pertes en phosphate entraîné avec les boues argileuses et les stériles est d'environ :  $49,91.10^6$  DH par an, c'est-à-dire  $4,16.10^6$  DH par mois et 138639 DH par jour, c'est une très grande perte économique. Pour cette raison on propose de recycler le stérile évacué vers mise à terril et les boues évacué vers caniveaux.

## **III. Valorisation des déchets**

### II.1 - Les boues argileuses

#### ➤ *Etude théorique*

L'importance économique des argiles est considérable puisqu'elles sont employées dans de nombreuses industries :

- Céramique ;
- Briques et tuiles ;
- Ciments ;
- Papiers ;
- Minières et pétroliers;
- Colorants [5].

On propose de construire des briques avec ce déchet si les pourcentages des éléments présents seront acceptables.

On se basera sur la fiche indiquée dans (l'annexe 4) pour savoir le type des briques qu'on peut fabriquer. Sachant que :

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : Oxyde ferrique, ce sont des cristaux rougeâtres bruns à noirs ou poudre [6].
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  : L'alumine ou l'oxyde d'aluminium est une poudre blanche, caractérisé par une grande résistance aux très fortes températures [7].

#### ➤ *Etude expérimentale*

Pour respecter l'environnement d'une part, et pour bénéficier de l'argile issue de lavage du phosphate. Il faut effectuer en premier temps un bulletin de pourcentage des constituants les plus importants contenus dans ces boues argileuses.

Pour cela :

- On prend un échantillon de surverse de l'hydrocyclone (44) et (41) de la ligne 4 (rejet vers caniveaux).
- On sèche les échantillons pour se débarrasser de l'eau et de l'humidité du phosphate.
- On broie chaque échantillon.
- On met chaque échantillon dans un sachet accompagné d'une étiquette qui indique la date et le lieu du prélèvement.

- On envoie ces échantillons au laboratoire central accompagné d'un bon de travaux toute en indiquant les éléments que l'on veut savoir leurs pourcentages ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ), le tableau 25 montre les résultats des analyses.

Les éléments chimiques	Surverse de l'hydrocyclone 44	Surverse de l'hydrocyclone 41
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	1,11	1,20
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	2,18	2,68
$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	14,06	17,51
$\text{CaO}$ (%)	25,11	33,60

*Tableau 25 : Les éléments de la basse coupure rejetés vers la mer*

### ➤ Propositions

L'argile issue de lavage de phosphate est une argile très riche en pentoxyde de phosphore comme c'est déjà signalé, c'est pour cela après toute utilisation il faut le recycler pour récupérer le  $\text{P}_2\text{O}_5$  et le  $\text{CaO}$  restant. Après recyclage de cette argile, on peut l'utiliser en fabrication :

- Des briques d'oxyde d'aluminium élevé liée chimiquement et trempée par l'ajout d'un pourcentage d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 59 % à 80 %.
- Ou des briques d'oxyde d'aluminium élevé liée chimiquement et recuite par l'ajout d'un pourcentage d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 62 % à 85 %.

### II.2 - Les stériles :

Le rejet de stérile est une opération inévitable, c'est une partie intégrante du processus de lavage. Il faut ainsi trouver des méthodes de gestion qui permettent de réduire la superficie des aires d'entreposage sans compromettre la production minière.

C'est pour cela on propose un recyclage de stérile pour récupérer le phosphate collé sur les grains, pour réaliser deux but à la fois ; respecter l'environnement et ce bénéficier des pertes en phosphate estimé en 2,48.106 DH par an et donc 6888 DH par jour.

Après recyclage on propose une inclusion des stérile dans :

- L'aménagement de routes et de digues autour des parcs de résidus comme matériaux de construction.
- Les ballasts des chemins de fer.
- La composition du ciment comme agrégats.

## 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 se servir à garantir une pérennité des équipements, une réduction du temps des arrêts et un gain fréquent pour l'entreprise.

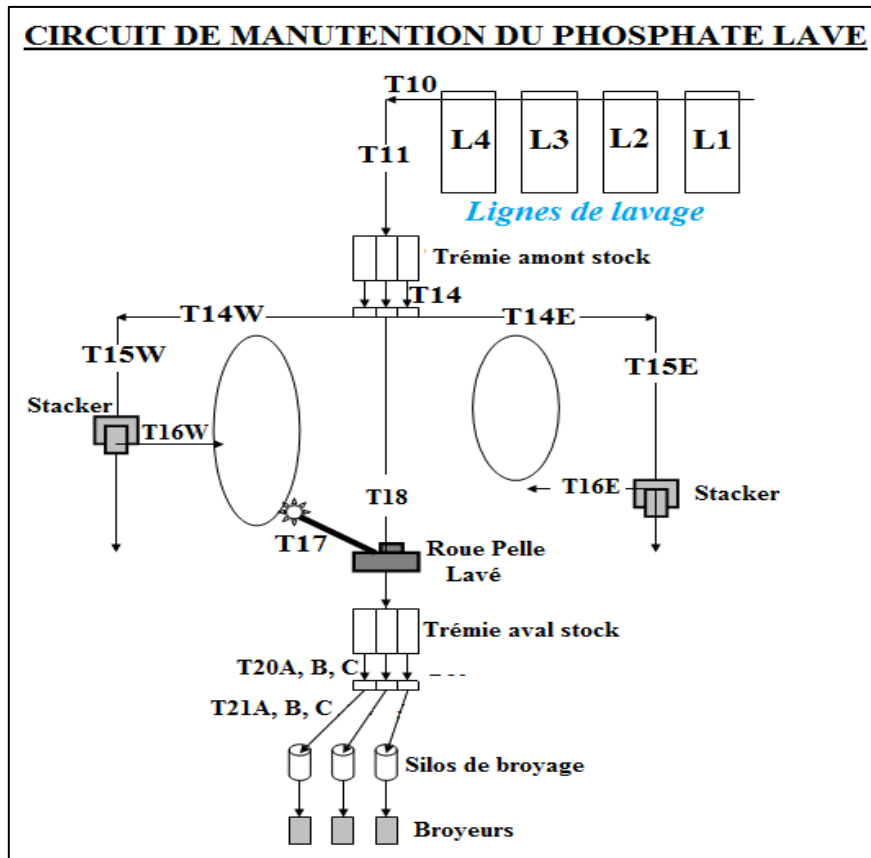
Grâce à l'aide qu'on a reçu de l'ensemble de l'équipe laverie, on a pu déterminer l'efficacité des cribles et des hydrocyclones et déterminer les actions d'amélioration aux niveaux matériels. On a pu déterminer les paramètres qu'il faut actualiser pour assurer le bon fonctionnement des équipements. Un standard pour le nettoyage du crible, un deuxième pour la vérification des panneaux criblants, et un troisième pour le suivi de fonctionnement des hydrocyclones ont été proposées.

On a pu aussi redimensionner l'hydrocyclone classificateur (34) qui présente le début de l'hydro-classification, qui a besoin d'augmenter son diamètre de vortex à 334mm au lieu de 190mm et diminuer la vitesse de sa pompe de refoulement pour récupérer le niveau haut du bidon collecteur ce qui signifie que le débit d'eau de dilution et le taux de solide seront stables, ce qui conduit à l'augmentation du diamètre de coupure de l'hydrocyclone de la valeur 63,095 $\mu$ m jusqu'à 125 $\mu$ m.

Dans le contexte de la nouvelle tendance que pratiquent les entreprises les plus exigeants, qui consiste à avoir une boucle fermée de production sous la théorie de « *zéro rejet* », et dans le cadre de la gestion des déchets et la protection de l'environnement que prene en vigueur l'OCP dans chaque étape de son procédé de production, on a proposé après recyclage du phosphate restant d'exploiter les boues phosphatées rejetées dans la mer en fabrication des matériaux céramiques (briques d'oxyde d'aluminium élevé liée chimiquement et trempée) ou (les briques d'oxyde d'aluminium élevé liée chimiquement et recuite par l'ajout d'un pourcentage d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 62 % à 85 %). On a proposé aussi de recycler le stérile qui présente une très grande perte économique, pour extraire le maximum de phosphate collés sur les parois avant leur utilisation.

# Annexes

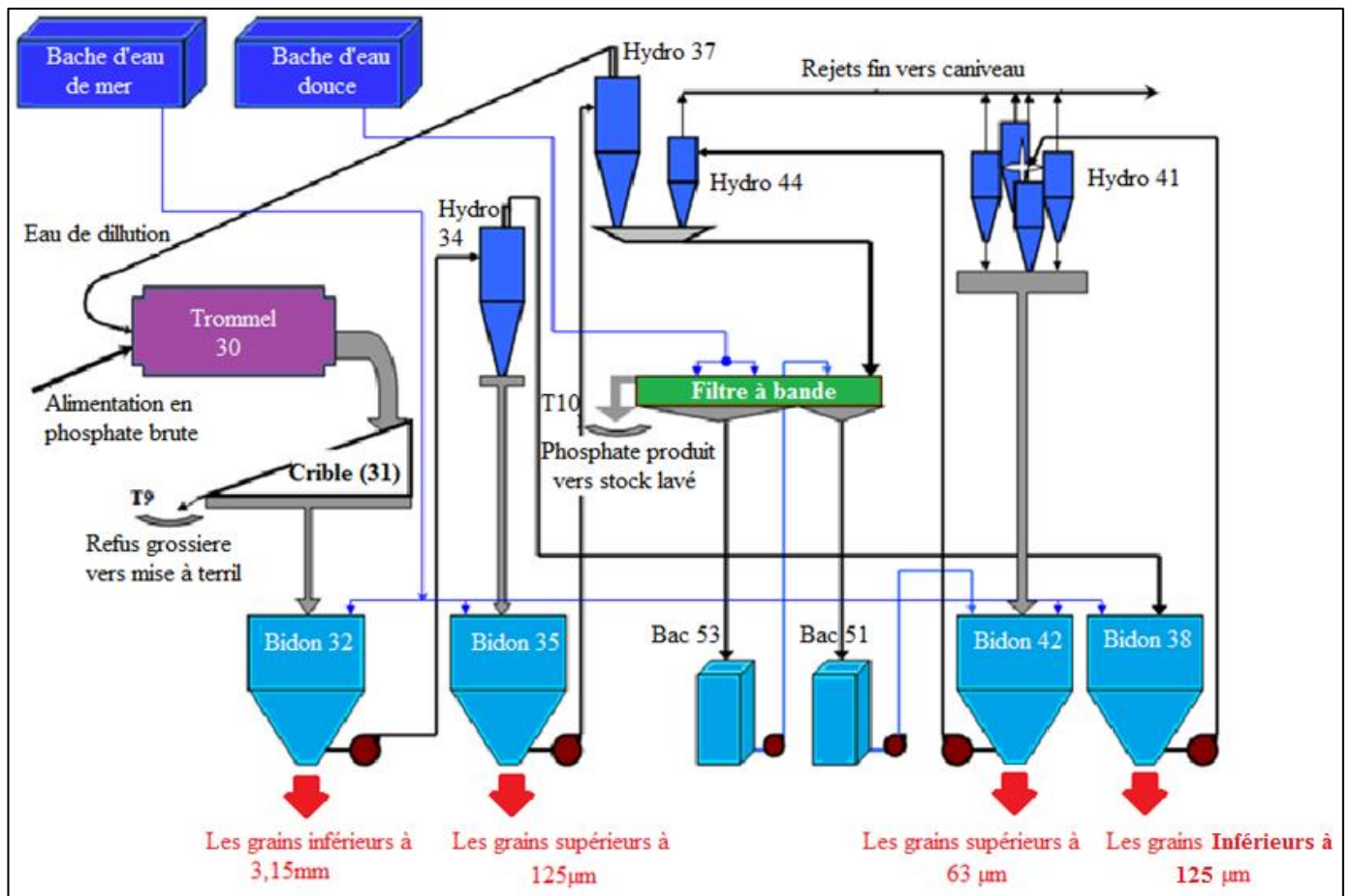
Annexe 1 : Circuit de manutention du phosphate lavé



Annexe 2 : Les paramètres de marche du trommel

Le repère	30
La longueur	10m
Le diamètre	3,6m
La vitesse de rotation	5.3 Tr/mn
Le temps de séjour	4 à 5 mn
Le rapport de dilution	1,7 à 1,8
Le temps de remplissage	34%

Annexe 3 : Schéma d'une ligne de lavage



Annexe 4 : Les pourcentages des éléments importants dans les briques de construction [8]

Briques d'argile réfractaire	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 29 % à 45 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 1.2 % à 1.6 %
Briques d'oxyde d'aluminium élevé	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 51 % à 95 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 0.1 % à 1.4 %
Briques d'oxyde d'aluminium élevé liée chimiquement et trempée	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 59 % à 80 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 0.9 % à 1.3 %
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.6
Briques d'oxyde d'aluminium élevé liée chimiquement et recuite	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 62 % à 85 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	de 1.0 % à 1.6 %
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.6

Briques renforcées de carbure de silicium	$Al_2O_3$	de 38 % à 78 %
	$Fe_2O_3$	de 0.2 % à 1.3 %
	SiC	de 5 à 26 %
Briques en carbure de silicium	$MnO_2$	1.2 %
	$Fe_2O_3$	0.2 %
	SiC	de 86 % à 88 %
Briques en argile réfractaire modelées	$Al_2O_3$	de 30 % à 37 %
	$Fe_2O_3$	de 1.5 % à 1.7 %
Briques en argile réfractaire modelées pour Moulage	$Al_2O_3$	de 37 % à 54 %
	$Fe_2O_3$	de 1.4 % à 1.9 %
Incerts en zircon	$ZrO_2$	65% à 94%
	$Fe_2O_3$	de 0,1% à 0,2%
	CaO	4%

# Bibliographie

[1] Document interne de l'OCP.

[2] Formation continu 2012, procédé de lavage Safi.

[3] MAI MANGA M. (2011) caractérisation de l'opération d'un hydrocyclone en présence d'anomalies de fonctionnement. Université Laval. QUÉBEC.

[4] HOUTOT Robert et JOUSSEMET Robert. Classification hydraulique en dimension. Ecole Nationale Supérieure de Géologie.

[5] Lien webographique (<http://argilauquotidien.weebly.com/2-les-applications-de-largile-dans-la-vie-quotidienne.html>).

[6] Lien webographique ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Oxyde\\_de\\_fer](https://fr.wikipedia.org/wiki/Oxyde_de_fer)).

[7] Lien webographique (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Alumine>)

[8] Lien webographique (<http://www.oct.be/documents/refractaire-materialen/basismateriaal.xml?lang=fr>





2015/2016

**Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés**

**Nom et prénom: MTAHRI Maha**

**Titre : Etude critique de l'efficacité des cribles et des hydrocyclones au sein de la laverie de Maroc Phosphore II**

**Résumé**

La laverie de Maroc Phosphore II souffre d'un problème de l'inefficacité des cribles qui réalisent une coupure sur 3,15mm. Cette inefficacité est due à l'entraînement des stériles avec le passant tamisable, ce qui diminue la teneur en pentoxyde de phosphore, et puis la qualité de l'acide phosphorique par la suite. Elle souffre aussi d'un problème de mauvaise classification des hydrocyclones, ce qui provoque une très grande perte de phosphate.

C'est pour cette raison qu'on a proposé des solutions concrètes pour éviter ces problèmes au niveau technique matériel et au niveau organisationnel aussi.

On a pu aussi redimensionner l'hydrocyclone classificateur, qui nous permet de s'assurer que le diamètre de coupure d'un hydrocyclone est influencé directement par le taux de solide, le diamètre de l'apex, le diamètre de vortex et la vitesse de la pompe de refoulement.

Et finalement, on a réalisé une étude économique des phosphates entraînés vers les caniveaux avec les boues argileuses et des phosphates entraînés vers mise à terril. On a fait une estimation des coûts des pertes seulement au sein de l'atelier laverie, pour proposer une ultérieure valorisation.



**Mots clés: Crible, efficacité, hydrocyclone, imperfection, apex, vortex, stérile, les boues argileuses, eau de mer, eau douce, lavage, étude économique, valorisation des déchets.**