

**Département des Sciences de la Terre
Licence Sciences et Techniques**

Géologie Appliquée aux Ressources Minières

**Laboratoire Géoressources-Unité de Recherche Associée au CNRST
(URAC 42)**

Projet de fin d'études

**Analyse des performances du crible et de
l'hydro cyclone 34 de la laverie des
phosphates de SAFI, MAROC**

Réalisé par: EL IDRISSI Hajar

EL BAKKAL Mariame

Encadré par :

Khalid EL AMARI : FST- Marrakech

Redouan ECH-CHAMI : Chef d'atelier, Maroc Phosphore

Soutenu, le 22 Juin 2017, devant la commission composée de :

Khalid EL AMARI : FST- Marrakech

Abd Ellah AIT ADDI: FST- Marrakech

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016-2017

Remerciements

Avant tout, on tient à remercier l'Office Chérifien de Phosphates de nous avoir donné l'occasion d'effectuer ce stage, plus particulièrement la laverie de SAFI qui nous a bien accueillies.

Pour commencer on tient à remercier tout le corps professoral et administratif de la FST ainsi que toute personne ayant contribué à bien mener ce stage. En particulier Mr. EL AMARI notre encadrant à la FST, Mr. AIT AADI examinateur de ce travail et Mr. EL GHORFI, responsable de la filière géologie appliquée aux ressources minières, pour leur aide et leur soutien.

On tient à présenter nos remerciements au chef d'atelier laverie : Mr. AACHIQ pour nous avoir permis d'intégrer l'OCP dans le cadre d'un stage de projet de fin d'études.

On tient à présenter nos très sincères remerciements à Mr. ECH-HAMI notre parrain de stage qui n'a ménagé aucun effort pour nous orienter, et nous encadrer pour l'élaboration de ce travail.

Nos vifs remerciements vont également à l'ensemble du personnel de l'OCP pour leur chaleureux accueil, de nous avoir aidées techniquement et moralement, et pour leur amabilité à nous écouter et à répondre à nos questions chaque fois que nous les sollicitons. Le présent rapport n'aurait pu voir le jour sans leur collaboration.

Résumé

Le travail mené dans le cadre de notre projet de fin d'études est une analyse de performance du crible et de l'hydro cyclone 34 de la première ligne de la laverie des phosphates de Safi.

Cette analyse, qui vise l'efficacité du crible et l'imperfection de l'hydrocyclone, a pour objectif le contrôle de qualité des produits de laverie de Safi, qui traite le phosphate de Bengéurir, pour obtenir des teneurs de P_2O_5 , MgO , Cd et SiO_2 répondant aux exigences du client. Les résultats ont montré que le crible est inefficace, donc il nécessite des améliorations, alors que l'hydrocyclone travaille dans un domaine de bonnes conditions.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyse granulo- chimique de P_2O_5 des phosphates de Benguéir.	20
Tableau 2 : Analyse granulo-chimique du cadmium des phosphates de Benguéir.....	21
Tableau 3 : Analyse granulo-chimique de MgO des phosphates de Benguéir.	21
Tableau 4 : Analyse granulo-chimique de SiO_2 des phosphates de Benguéir.	22
Tableau 5 : Résultats des analyses chimiques des éléments P_2O_5 , Cd , MgO et SiO_2	22
Tableau 6 : Analyse granulo-chimique de P_2O_5 des tranches de 3150 μm à 63 μm	23
Tableau 7 : Analyse granulo-chimique de Cd des tranches de 3150 μm à 63 μm	23
Tableau 8 : Analyse granulo-chimique de MgO des tranches de 3150 μm à 63 μm	24
Tableau 9 : Analyse granulo-chimique de SiO_2 des tranches de 3150 μm à 63 μm	24
Tableau 10 : Résultats des analyses chimiques des éléments P_2O_5 , Cd , MgO et SiO_2 après l'élimination des tranches ($> 3,15mm$ et $63 \mu m <$).	24
Tableau 11: Analyse granulométrique des produits du crible de la ligne 1	28
Tableau 12 : Les actions d'amélioration pour gérer l'efficacité du crible	29
Tableau 13 : Les paramètres du hydrocyclone	31
Tableau 14: Analyse granulométrique de hydrocyclone Weires 34 de la ligne 1	35
Tableau 15 : Calcul de nombre de partage pour hydrocyclone Weires 34.....	38

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des gisements de phosphate au Maroc	4
Figure 2 : Estimation des réserves mondiales de phosphate en milliard de tonnes	4
Figure 3 : Organigramme du groupe OCP	5
Figure 4 : Organigramme de la division Maroc phosphore II.....	7
Figure 5 : Le circuit de production de Maroc phosphore II	8
Figure 6 : Secteur de déchargement du Phosphate.....	11
Figure 7: Schéma d'une ligne de lavage	13
Figure 8 : Schéma d'un filtre à bande	15
Figure 9 : Circuit de manutention du phosphate lavé.....	16
Figure 10 : Courbes granulométriques de QN et QT	19
Figure 11: Les composants du crible.....	25
Figure 12 : Points d'échantillonnage au niveau du crible	27
Figure 13 : Courbe granulométrique du passant, du refus et de l'alimentation reconstituée ...	28
Figure 14 : Les composants d'un hydrocyclone.....	31
Figure 15: Points d'échantillonnage au niveau du hydrocyclone	34
Figure 16: Courbe granulométrique de la sousverse, de la surverse et de l'alimentation reconstituée.....	35
Figure 17: Courbe de partage du hydrocyclone 34, ligne 1	38

Liste des photos

photo1: Les quatre lignes de traitement des phosphates de Benguerir	15
Photo2: Debourbeur (Trommel 30)	15
Photo 3: Crible	15
Photo 4 : Vue de haut d'un filtre	15
Photo 5: Materiels d'analyse granulometrique utilisee à la laverie de Safi	19
Photo 6: Processus du criblage.....	26
Photo 7: Hydrocyclone classificateur.....	32
Photo 8 : Hydrocyclone épaisseur.....	32

Table des matières

REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES PHOTOS.....	V
INTRODUCTION GENERALE	1
Partie 1 :	2
Généralité	2
Chapitre 1: Généralité sur les phosphates	2
I. Introduction.....	2
II. Les gisements de phosphates exploités dans le monde	2
II.1. Les gisements d'origine ignée	3
II.2. Les gisements de type Guanos.....	3
II.3. Les gisements sédimentaires	3
III. Répartition des phosphates dans le monde.....	4
Chapitre 2: Présentation de l'entreprise	5
I. Présentation du Groupe OCP (Office Chérifien des Phosphates).....	5
II. Présentation de Maroc Phosphore de Safi	6
III. Présentation du Maroc Phosphore II.....	6
III.1. Introduction	6
III.2. Circuit de production à la Division DP	7
III.2.1. L'atelier d'acide sulfurique	8
III.2.2. L'atelier d'acide phosphorique.....	9
III.2.3. L'atelier Energie et Fluides	9
III.2.4. L'atelier de lavage de phosphate	9
III.2.4.1. Secteur de déchargement du phosphate	10
III.2.4.2. Secteur de manutention du phosphate brut.....	11
III.2.4.3. Secteur des lignes de lavage	12
III.2.4.4. Secteur de manutention du phosphate lavé (Figure 9).....	15
III.2.4.5. Secteur de mise en terril	16
Partie 2 : Analyse des performances du crible et de l'hydrocyclone 34 de la première ligne.....	17
Chapitre 1 : Caractérisation des phosphates de Benguéir	17

I. Introduction.....	17
II. Analyses granulo-chimiques.....	17
II.1. Analyses granulométriques.....	17
II.2. Analyses chimiques	19
Chapitre 2: Etude critique de l'efficacité du crible de la ligne 1.....	25
I. Introduction.....	25
II. L'opération de criblage à Maroc Phosphore II	25
III. Description du crible utilisé (Photo 6).....	26
IV. Etude critique de l'efficacité du crible	27
IV.1. Analyse granulométrique	27
IV.2. Détermination de l'efficacité du crible	28
Chapitre 3 : Etude de l'imperfection de hydrocyclone 34 de la ligne 1	30
I. Introduction.....	30
II. L'Hydrocyclonage	30
III. Les types des hydrocyclones et les paramètres qui influencent leurs coupures	31
III.1. Les types des hydrocyclones	31
III.1.1. Hydrocyclone classificateur	32
III.1.2. Hydrocyclone épaisseur	32
III.2. Les paramètres qui influencent la coupure des hydrocyclones Weires.....	33
III.2.1. Les paramètres de conception	33
III.2.2. Les variables d'opération d'un hydrocyclone.....	34
IV. Etude de l'imperfection de hydrocyclone 34 de la ligne 1	34
IV.1. Analyse granulométrique	34
IV.2. Détermination de l'imperfection de l'hydrocyclone 34 de la première ligne	36
CONCLUSION GENERALE	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	41

INTRODUCTION GENERALE

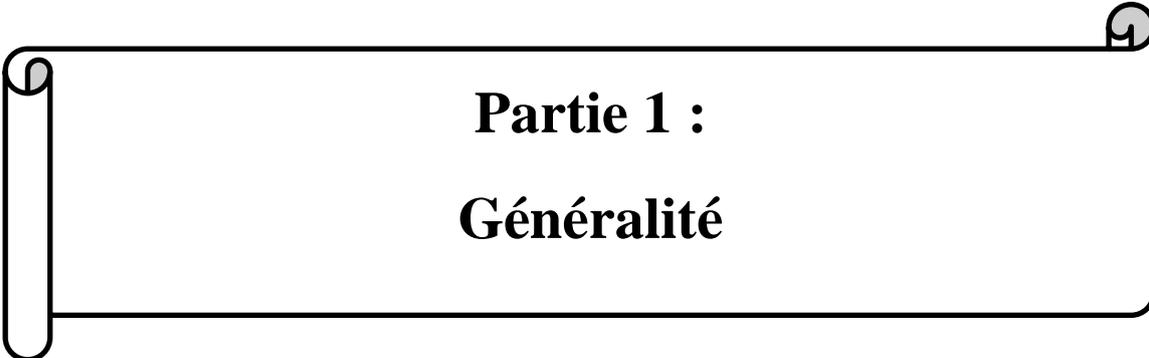
L'Office Chérifien des Phosphates (OCP) est considéré depuis sa création le plus grand producteur de phosphates en Afrique. Il compte parmi les piliers de l'économie marocaine. L'exploitation des phosphates constitue un monopole de l'Etat représenté par l'OCP. Dans le contexte actuel du marché mondial, l'importance n'est pas seulement de produire suffisamment mais de produire un niveau de qualité acceptable et répondre aux exigences du client.

L'unité de lavage de Maroc phosphore II occupe une position stratégique au sein du complexe industriel MAROC PHOSPHORE DE SAFI, du fait qu'elle possède une station de déchargement permettant l'alimentation de toute la plateforme en phosphate sec et brut en provenance de YOUSOUFIA et BENGUERIR. Cette unité est destinée à l'enrichissement des phosphates humides provenant de Benguerir 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'hydroclassification et finalement la filtration.

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

Notre projet de fin d'études cible les deux opérations de classification granulométrique : le criblage et l'hydrocyclonage du phosphate brut. Il vise à pallier aux problèmes de dérèglement de ces appareils. Pour atteindre cet objectif : *une visite de la laverie nous a été capitale pour se rendre compte de l'importance de la tâche qui nous a été attribuée, suivie de * des études granulométriques et granulo-chimiques des produits bruts et des produits de criblage et hydrocyclonage, en vue d'évaluer l'efficacité du crible et de l'imperfection des hydrocyclones de la première ligne.

Ce mémoire est composé de deux parties ; une partie bibliographique et une partie pratique dans laquelle on s'est intéressé à une analyse des performances du crible et de l'hydrocyclone 34 de la laverie des phosphates de Safi.



Partie 1 :
Généralité

Chapitre 1: Généralité sur les phosphates

I. Introduction

Le phosphate est extrait sous forme minérale pour être commercialiser pour différents usages: il est la source principale du phosphore, de la fabrication de l'acide phosphorique, et des engrais utiles pour améliorer le rendement des récoltes. Il est aussi utilisé sous la forme de lessive et autres produits détergeant. Le phosphate a des propriétés détachantes intéressantes pour l'industrie des lessives (il permet aussi de faire briller la vaisselle...). On en fait aussi les médicaments et les insecticides. Ce produit a un rôle primordial dans l'économie du Maroc qui dispose de plusieurs gisements phosphatés différents les uns des autres aussi bien par leurs superficies que par leur faciès. Le Maroc renferme les $\frac{3}{4}$ des réserves connues sur la planète (98% dans le centre du pays et 2% dans le sud) (Lenoble et al. 1952 ; Moutaouakil 1990). Il est le premier exportateur et le troisième producteur de phosphates bruts à l'échelle mondiale. Cette exploitation se fait dans des conditions avantageuses : extraction facile à ciel ouvert, teneur forte qui permet un traitement consistant en un séchage et un épierrage.

II. Les gisements de phosphates exploités dans le monde

L'apatite constitue le minéral principal des phosphates. La théorie retenue sur la formation de l'apatite c'est que, la principale source du phosphate provient des fonds marins grâce à des courants ascendants (courants froids provenant des fonds des océans) appelés les Upwellings Waters. Les organismes vivants dans la plate-forme continentale concentrent le phosphore dans leurs squelettes, qui reste après leurs morts. Ce phosphore libéré dans l'eau se combine avec les carbonates (CO_3^{2-}) et le fluor (F^-) sous des conditions particulières (diagenèse précoce) pour former le Carbonate Fluorapatite (apatite fluorée et carbonatée) (Badioui et Kamuannya Kalombo, 2015).

Le minerai se compose essentiellement d'Apatite (80 % à 70 %), de calcite, de dolomite, de quartz, d'argile et de matière organique.

Les phosphates dans le monde se présentent en trois types de gisements de différentes origines selon Slansky (1980). On distingue :

II.1. Les gisements d'origine ignée

Ces gisements sont associés à des complexes intrusifs alcalins (les syénites, néphéliniques, les carbonates, les ijolites et les pyroxénites). On peut citer: * Les gisements de Khibiny (Russie) qui sont liés à un complexe annulaire à syénite néphélinique. Ils présentent 16 millions de tonnes de minerais, avec une teneur est de 18 % P_2O_5 ; et * les gisements de Palabora (Afrique du Sud) de teneur moyenne plus faible. Les réserves d'apatite dans ce gisement sont associées à des carbonatites et des pyroxénites (apatite + serpentine + magnétite).

II.2. Les gisements de type Guanos

Ces gisements sont formés à partir des déjections des oiseaux de mer qui contiennent environ 4 % P_2O_5 . En général la qualité de ces phosphates est fort intéressante vis à vis de leur quantité.

Les gisements de l'île Nauru dans l'océan pacifique contiennent 90 millions de tonnes de minerai de 39 % P_2O_5 , et les gisements de l'île Christmas dans l'océan indien contiennent 200 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 23 à 27 % P_2O_5 .

II.3. Les gisements sédimentaires

Les gisements sédimentaires sont les plus abondants en quantité et ont en général des teneurs qui dépassent 28% P_2O_5 . Les gisements phosphatés marocains font partie de ce type (Figure 1) : Ils se localisent stratigraphiquement dans le Crétacé supérieur (Maastrichtien), paléocène (Danien et Thanétien) et l'Éocène inférieur (Yprésien). Ils se répartissent en quatre principaux bassins dont trois sont localisés au Centre-Nord du pays et constituent une partie importante de la couverture sédimentaire de la Meseta marocaine. Il s'agit des bassins des OULAD ABDOUN, MESKALA, OUED EDDAHAB et GANTOUR.

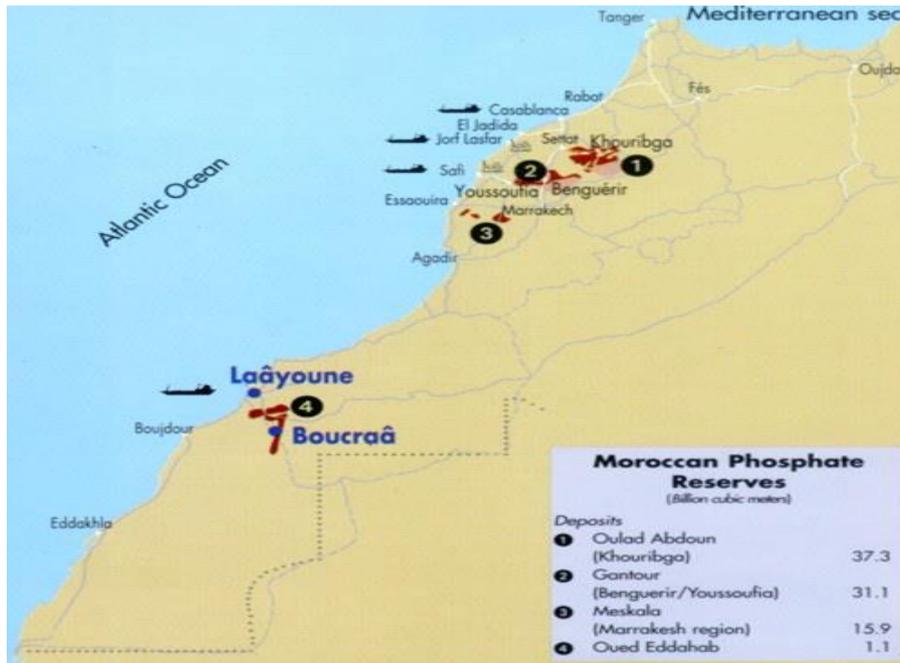


Figure 1 : Localisation des gisements de phosphate au Maroc (OCP 2009)

III. Répartition des phosphates dans le monde



Figure 2 : Estimation des réserves mondiales de phosphate en milliard de tonnes (UsGeological Survey 2011)

Cette figure donne la situation des principaux gisements phosphatés dans le monde dont les plus importants se trouvent en Amérique du Nord (États-Unis), en Afrique du Nord (Maroc et Tunisie), en Chine et sur certaines îles d'Océanie (Nauru, Banaba et Makatea) et dans certains pays comme (Togo et Jordanie...), ainsi le Maroc, les États-Unis et la Chine considérés comme les pays les plus producteurs dans le monde avec une part de marché supérieure à 62 % (Figure 2).

Chapitre 2: Présentation de l'entreprise

I. Présentation du Groupe OCP (Office Chérifien des Phosphates)

Créé en 1920, le Groupe OCP, dont l'organigramme est présenté dans la figure 3, joue un rôle important sur le plan économique et social du Maroc. C'est un établissement semi-public à caractère industriel et commercial, doté d'une organisation lui permettant d'agir avec la même souplesse qu'une grande entreprise privée et indépendante. Il détient le monopole de la recherche, de l'exploitation, de la valorisation et de la commercialisation du phosphate et de ses dérivés. Ses atouts résident dans : *4 ports d'embarquement des produits du Groupe OCP (Casablanca, Safi, Jorf-Lasfar, Lâayoune), *Plusieurs profils de phosphates et de produits dérivés, *1^{er} exportateur mondial de phosphate, *1^{er} exportateur mondial d'acide phosphorique et *1^{er} exportateur mondial du P₂O₅ sous toutes formes [1].

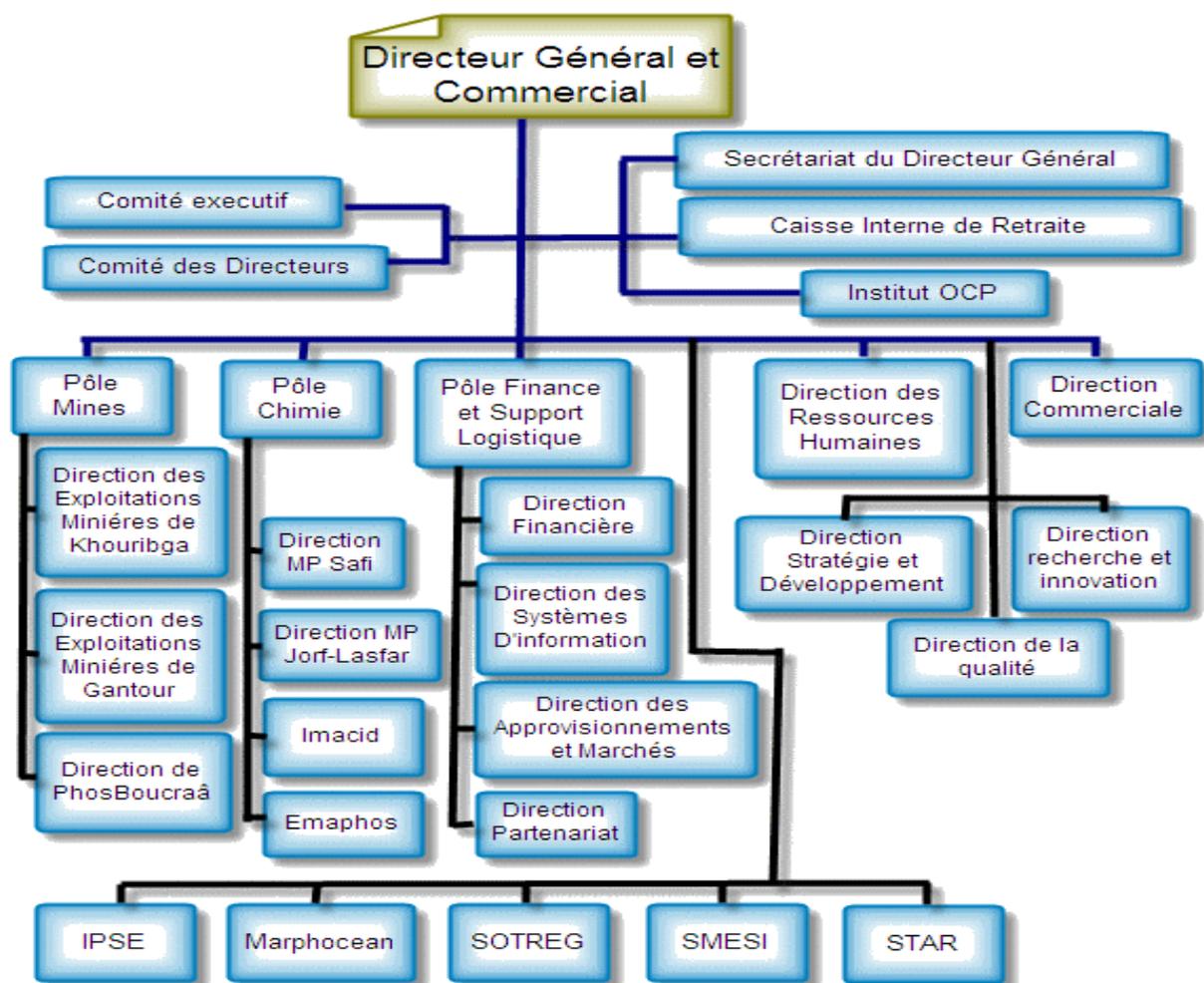


Figure 3 : Organigramme du groupe OCP

II. Présentation de Maroc Phosphore de Safi

Cet ensemble chimique, qui fait partie du groupe OCP, est l'une des plus grandes plates-formes de fabrication d'acide phosphorique dans le monde. Il est situé à 9 Km au sud-ouest de la ville de Safi. Cet emplacement est justifié par deux raisons [1]:

- * La présence d'une voie ferrée permettant l'approvisionnement en phosphate brut à partir de Youssoufia et Ben guérir ainsi qu'une ligne ferroviaire avec le port de Safi,

- * La proximité de la côte atlantique pour l'utilisation de l'eau de mer en tant que fluide réfrigérant.

III. Présentation du Maroc Phosphore II

III.1. Introduction

Le complexe Maroc Phosphore II, dont l'organigramme est présenté dans la figure 4, destiné à la production de l'acide phosphorique clarifié, avec une capacité de 480000 T P_2O_5 /an, a été mis en service en 1981. Le phosphate provenant de Benguérir est acheminé par train puis par convoyeurs vers la station de lavage pour l'élimination des stériles et des fines particules pauvres afin d'augmenter sa teneur en P_2O_5 . Le phosphate lavé est broyé sous forme de pulpe dans des broyeurs rotatifs à barres puis attaqué par l'acide sulfurique. La bouillie issue de l'attaque est refroidie par injection d'air en vue de promouvoir la formation de cristaux facilitant la séparation par filtration de l'acide et du gypse. L'acide obtenu à un titre de 30 % P_2O_5 est concentré, par évaporation sous vide pour atteindre sa qualité commerciale à 54 % P_2O_5 [1].

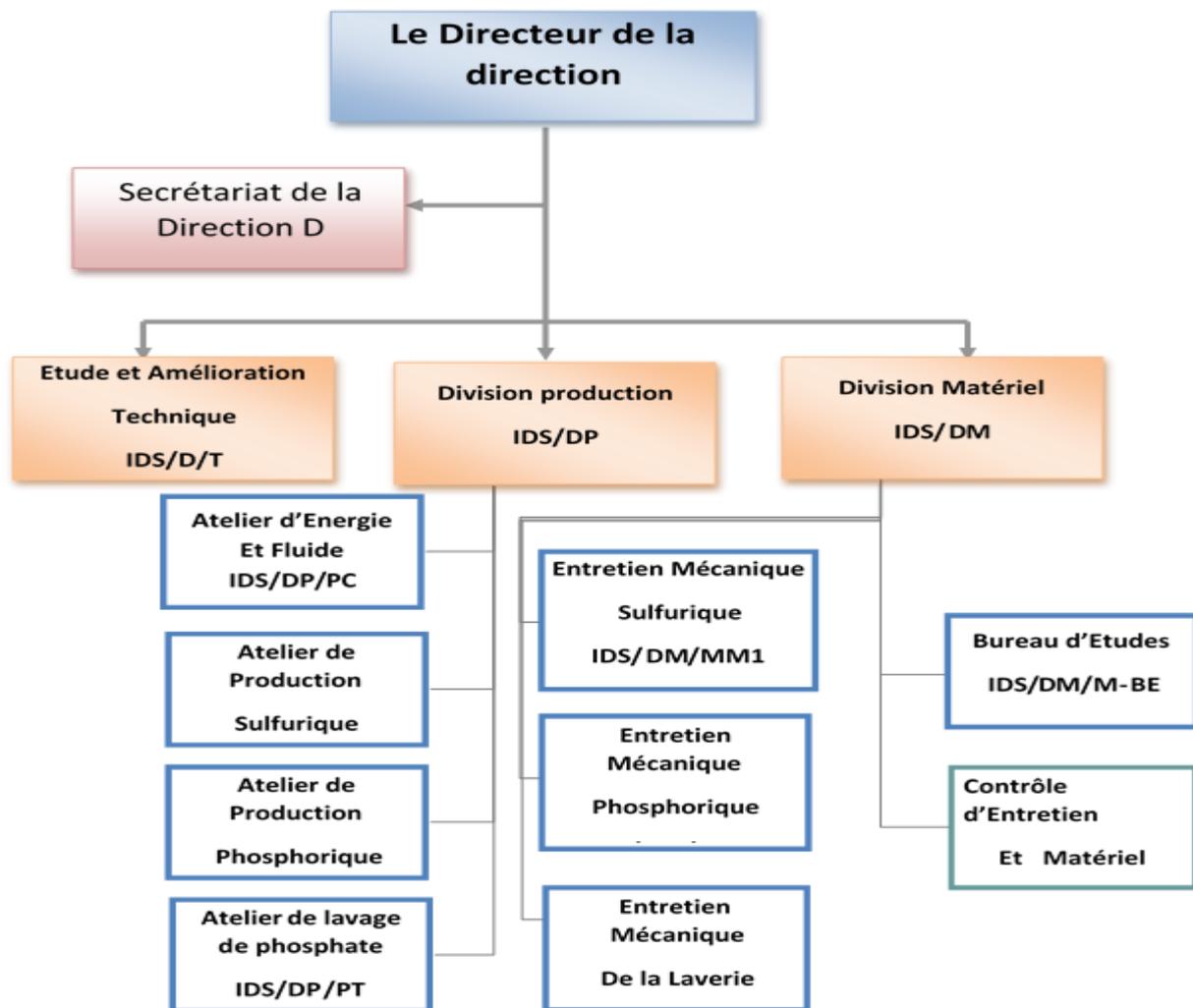


Figure 4 : Organigramme de la division Maroc phosphore II

III.2. Circuit de production à la Division DP

Cette division comprend quatre ateliers de production qui sont (Figure 5): L'atelier sulfurique, l'atelier phosphorique, l'atelier énergie et fluides (Centrale, Traitement d'eau douce et pompage d'eau de mer) et l'atelier de lavage de phosphate [1].

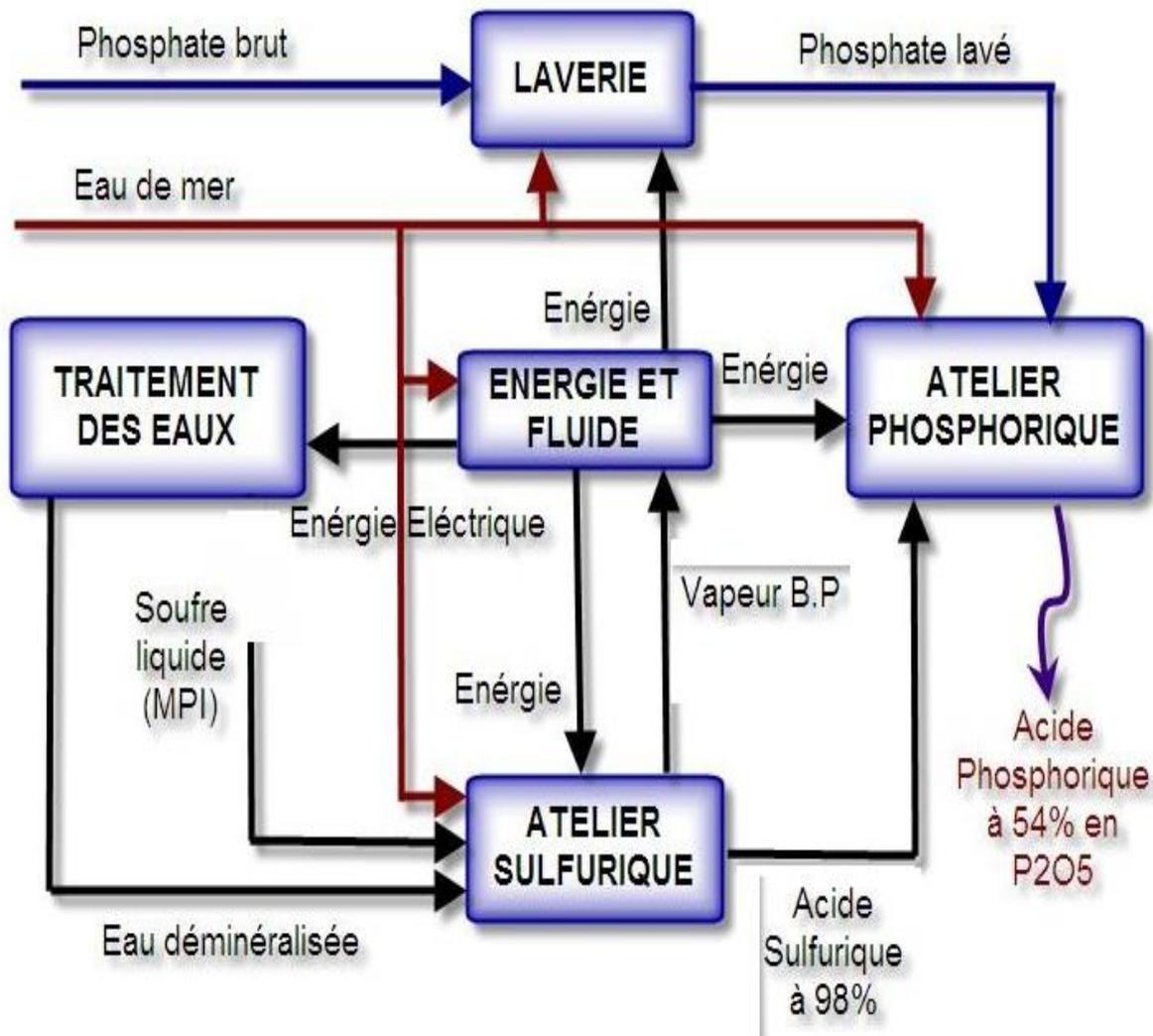


Figure 5 : Le circuit de production de Maroc phosphore II

III.2.1. L'atelier d'acide sulfurique

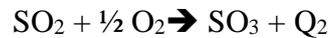
L'atelier sulfurique PS de Maroc Phosphore II comprend trois lignes identiques A, B et C de capacité unitaire 1750 T/j d'acide sulfurique concentré à 98 % selon le procédé simple absorption de MONSANTO DENORA. Il assure en outre la production de la vapeur haute pression (57 bar à 490°C) à partir des chaudières de récupération. La production de l'acide sulfurique 98 % qui subit une dilution pour atteindre une valeur de 84%, est nécessaire pour la fabrication de l'acide phosphorique [1].

Le procédé MONSANTO DENORA de fabrication de l'acide sulfurique comprend en général trois étapes qui sont :

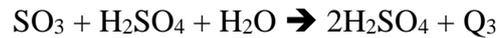
- ❖ La combustion :



- ❖ La conversion :



- ❖ L'absorption :



III.2.2. L'atelier d'acide phosphorique

L'atelier phosphorique de la division MP II a été conçu pour la production d'un acide titrant 54% en P_2O_5 selon le procédé NISSAN. Il est constitué de trois lignes A, B et C de réaction et six lignes de concentration A, B, C, D, F, H. Chaque ligne de réaction est approvisionnée en phosphate issu de la laverie et en acide sulfurique issu de l'atelier sulfurique. Sa production est de 1500 t/j P_2O_5 .

Dans le procédé NISSAN, nous faisons intervenir les étapes suivantes :

Broyage, Réaction-filtration-désulfatation, concentration d'acide phosphorique(CAP), stockage d'acide phosphorique [1].

III.2.3. L'atelier Energie et Fluides

L'atelier Energie et Fluides est constitué d'une unité de traitement d'eau douce, d'une station de pompage d'eau de mer et d'une centrale thermo électrique. Cet atelier permet d'alimenter le complexe de toutes les utilités dont il a besoin à savoir [1]:

- * Les différents qualités d'eau : eau filtrée, eau déminéralisée, eau désilicée, eau alimentaire et l'eau de mer ;

- * Vapeur MP (moyen pression);

- * L'air comprimé ;

- * L'énergie électrique

III.2.4. L'atelier de lavage de phosphate

La laverie a été conçue et réalisée pour l'enrichissement par voie humide des phosphates de Benguerir. Elle se compose de quatre lignes identiques. Ces lignes comprennent des

appareils de séparation et de classification permettant l'enrichissement du phosphate en P_2O_5 en vue de satisfaire aux exigences du procédé de fabrication de l'acide phosphorique. La laverie est composée de cinq secteurs [2] :

- *Secteur de déchargement du phosphate ;
- *Secteur de manutention du phosphate brut ;
- * Secteur des lignes de lavage ;
- * Secteur de manutention du phosphate lavé ;
- * Secteur de mise en terril.

III.2.4.1. Secteur de déchargement du phosphate

La station de déchargement « Gare Haute » du Maroc Phosphore II (figure 6) est conçue pour le déchargement des trains destinés à alimenter les complexes CIS (Complexe Industriel Safi). Elle est composée de deux parties identiques :

- La partie située à l'Est, assure le déchargement des trains de phosphate humide criblé en provenance de BENGUERIR.
- La partie située à l'ouest, assure le déchargement des trains de phosphate sec en provenance de YOUSOUFIA.

La conception de la station ne permet que le déchargement d'une seule qualité de phosphate sec ou humide (Figure 6) [2].

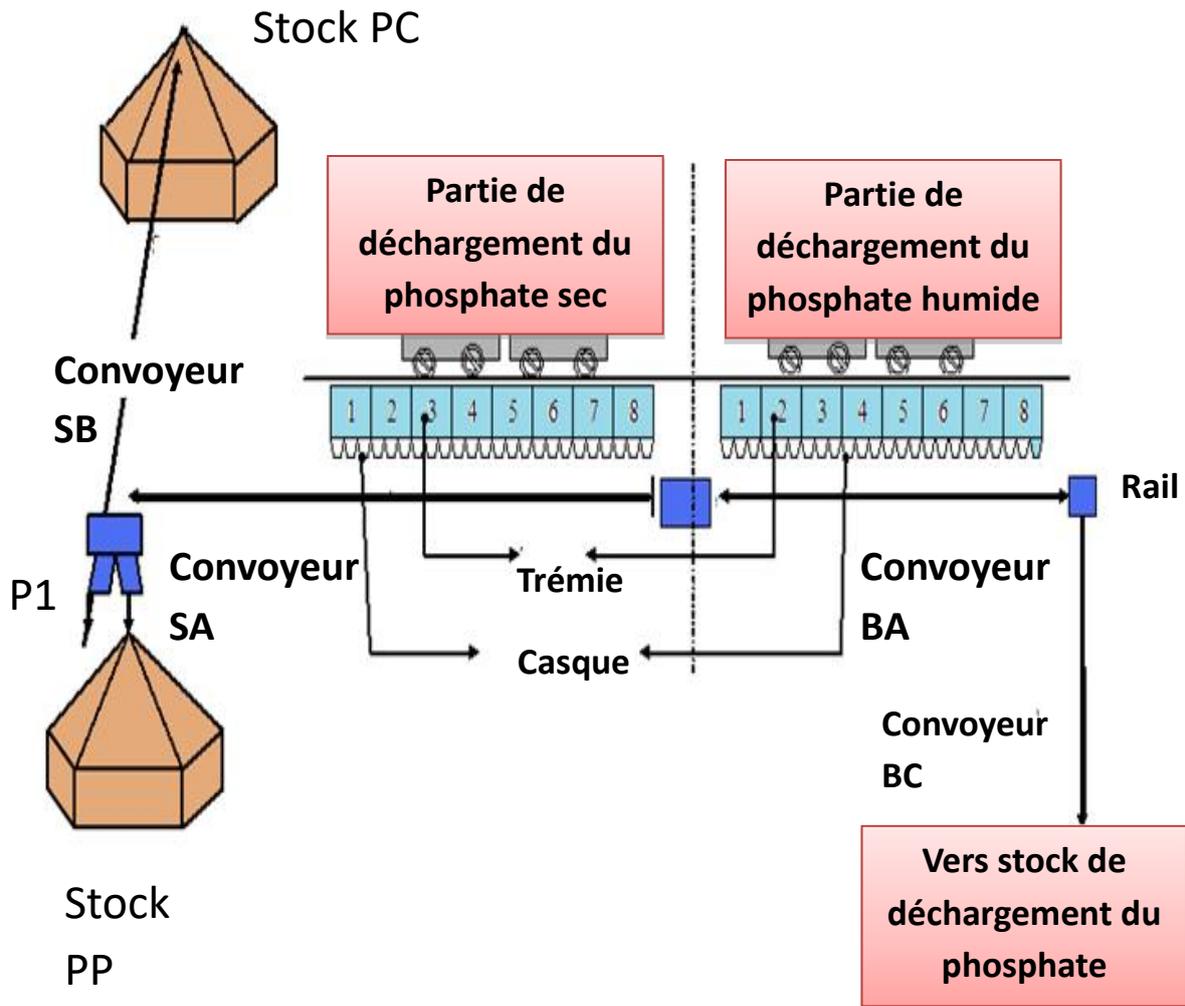


Figure 6 : Secteur de déchargement du phosphate

III.2.4.2. 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 convoyeurs en cascade BE2- BF2-ST2 et,* Le circuit de stockage du parc « OUEST » est constitué d'une stockeuse et d'une série de convoyeurs en cascade BE1- BF1-ST1.

La capacité de l'ensemble du stock brut est de 170.000T HC (capacité humide). La capacité du stock mort qui n'a pas été utilisé depuis un certain temps est de 13.700T. La capacité du stock vif qui est le plus utilisé est de 156.400T.L'alimentation de la laverie est assurée par un circuit de déstockage composé d'une roue-pelle, d'une série de convoyeurs en cascade BH-BI-T1-T1bis-T2 et d'une trémie tampon de capacité 400T [2].

III.2.4.3. Secteur des lignes de lavage

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 lime = $2.18^* P_2O_5$) c'est-à-dire les grosses et les fines particules, tout en tenant compte du rendement poids [2].

Ce traitement se déroule dans quatre lignes (PL.I, Ph.1).

Les opérations de traitement mises en œuvre dans chaque ligne consistent en :

- ❖ la préparation du minerai brut par stockage, homogénéisation et caractérisation,
- ❖ le lavage pour améliorer la qualité des produits, notamment la réduction des taux de Cd, Fe, SiO_2 , Cl_2 , CO_3 , MgO, Al et la réactivité chimique et l'augmentation de P_2O_5 et BPL

Le procédé de lavage du phosphate de Benguérir (BG) à la laverie de Maroc Phosphore Safi passe par quatre étapes : Débourbage, criblage, hydrocyclonage et enfin filtration (Figure 7) [2] :

Le phosphate brut déstocké est introduit dans le trommel 30 (Débourbeur, PL.I, Ph.2) avec la surverse de l'hydrocyclone secondaire 37 qui assure le délitage. L'eau est introduite en parallèle avec le minerai de phosphate pour assurer le malaxage et l'attrition du phosphate afin que les grains de phosphate se séparent de leur gangue argilo-calcaire.

A la sortie du trommel, la pulpe est acheminée vers un crible vibrant (31) (PL.I, Ph.3) qui assure la coupure haute à 3.15mm. L'arrosage du produit est fait à partir de la bêche de l'eau de mer (58) par simple gravité. Le refus (pauvre en BPL) est collecté par la convoyeur T9 puis évacuer par une série de convoyeurs vers la mise en terril alors que le passant du crible est recueilli dans un bidon (32) (Figure 7).

A la sortie de ce bidon, une pompe (33) alimente l'hydrocyclone (34) qui effectue une coupure à 125 μm . 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 sortie de ce dernier, 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 (Figure 7).

Le bidon collecteur (38), à l'aide d'une pompe (39) alimente une batterie de quatre hydrocyclones primaires (41) faisant la coupure à 63 μm . Les surverses de ces batteries sont

Planche I

1



2



3



4



PL.I : Photo1: Les quatre lignes de traitement des phosphates de Benguérir ; Photo2: Débourbeur (Trommel 30) ; Photo 3: Crible ; Photo 4 : Vue de haut d'un filtre

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 8 et PL.I, Ph.4) [2].

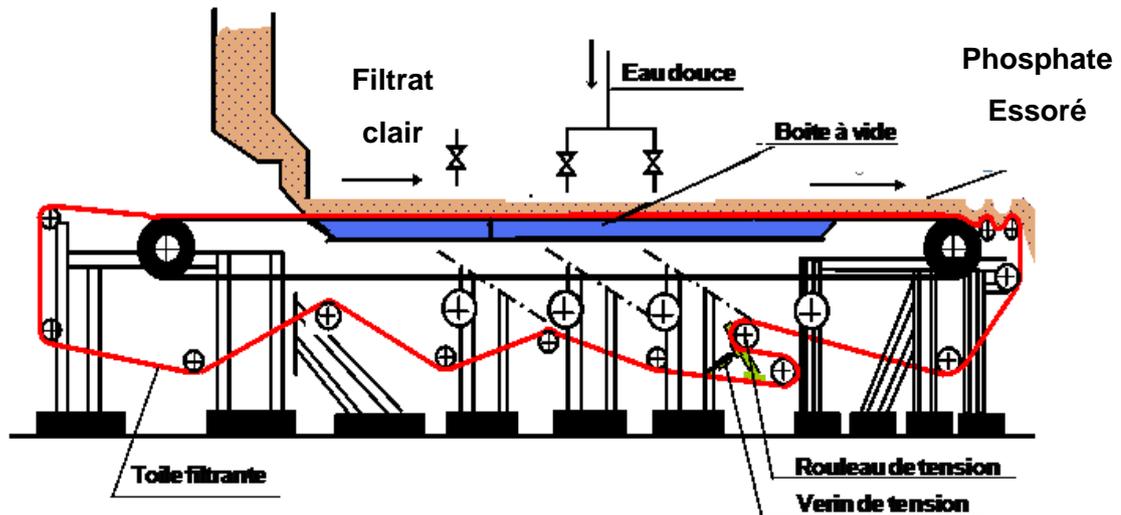


Figure 8 : Schéma d'un filtre à bande

Le bilan d'eau et de solide pour une ligne de lavage :

Pour la ligne 1 : au niveau de l'entrée on a 150T /heure de phosphates avec une humidité supérieure à 10% pour la qualité Normale et inférieure à 10% pour la qualité Tessenderlo. 15T/heure sont des rejets stériles et 22,5T/heure sont des boues, ces derniers sont rejetés vers la mer, le 19,15T de phosphates restent en circulation dans la ligne.

Au niveau de la sortie de la ligne on a 90 à 95 T/heure de phosphates qui sortent pour la qualité Normale et 95 à 110T/heure pour la qualité Tessenderlo.

L'eau nécessaire pour le traitement de 150T/heure de phosphates est 480m³/heure d'eau de mer et 79 m³/heure d'eau brute dont le but de diminuer la concentration du chlore.

III.2.4.4. Secteur de manutention du phosphate lavé (Figure 9)

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 100 tonnes. 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 de broyage, en vue produire P_2O_5 , 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 [2].

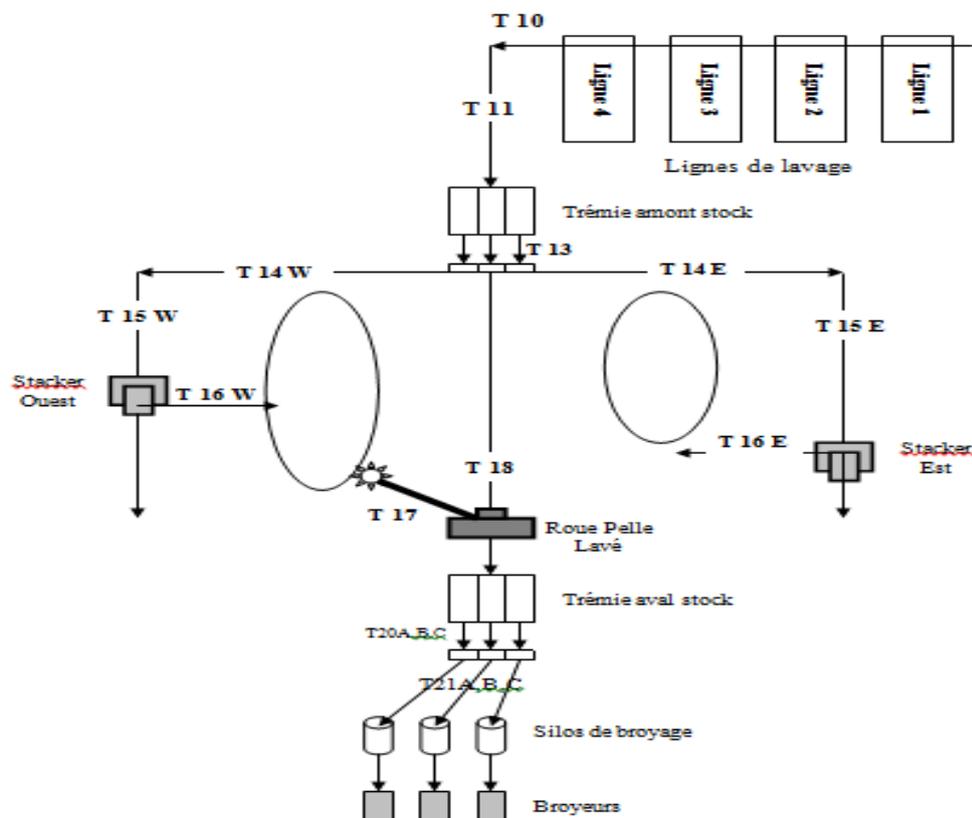
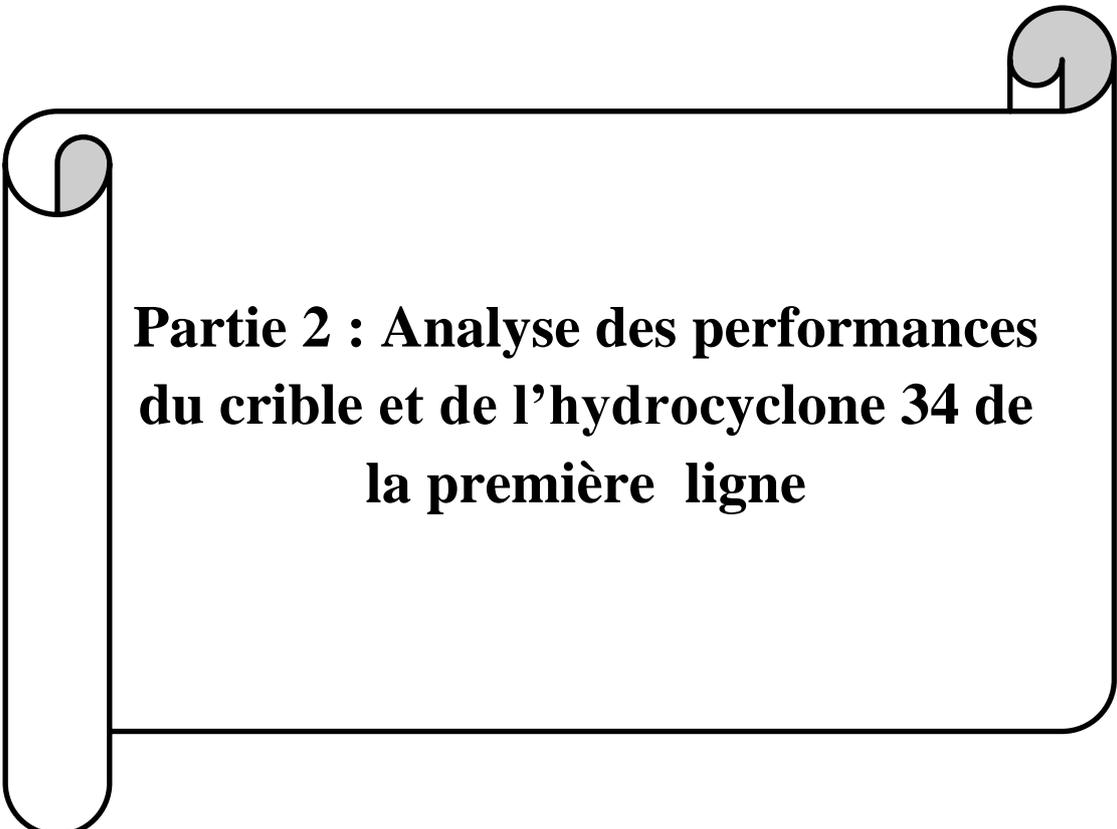


Figure 9 : Circuit de manutention du phosphate lavé

III.2.4.5. Secteur de mise en 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'.

Le drainage des rejets fins est assuré par une conduite de diamètre 800 permettant l'évacuation de boues vers la mer [2].



**Partie 2 : Analyse des performances
du crible et de l'hydrocyclone 34 de
la première ligne**

Chapitre 1 : Caractérisation des phosphates de Benguérir

I. Introduction

L'usine de lavage de Maroc phosphore Safi traite les phosphates en provenance de Benguérir. Ce phosphate est caractérisé principalement par la teneur de P_2O_5 et la teneur de Cd, ce dernier détermine la qualité des phosphates : si la teneur est supérieure à 10 ppm, on a une qualité normale (QN), sinon la qualité est dite «Tessengerlo» (QT) (teneur Cd < 10 ppm). Dans ce cas on procède au lavage du produit d'une qualité donnée selon les exigences du client.

Ce chapitre a pour but de caractériser le minerai de phosphate de Benguérir en vue de déterminer ses teneurs en P_2O_5 , MgO, Cd et SiO_2 dans l'échantillon global et dans les différentes tranches granulométriques, surtout les tranches de 3150 à 63 μ m. Les essais de caractérisation concerneront aussi bien le phosphate de qualité normale que celui de qualitéessengerlo.

II. Analyses granulo-chimiques

L'analyse granulo-chimique se subdivise en : analyse granulométrique et analyses chimiques. On procède à l'analyse granulométrique pour déterminer les tranches dimensionnelles des particules constituant le phosphate. L'analyse chimique permet de définir les éléments qui constituent différentes tranches granulométriques et de déterminer leur quantité afin de donner un profil au phosphate qualité normale (QN) et qualitéessengerlo (QT).

II.1. Analyses granulométriques

La granulométrie est la distribution des grains dans une roche ou un sédiment en fonction de leur taille. Plusieurs échelles granulométriques existent, elles permettent de classer les phosphates en fonction de la taille de leurs grains. Le protocole suivi pour effectuer l'analyse granulométrique des deux qualités de phosphate « normale » et «essengerlo » est le suivant (Photo 5).

a) Appareillage :

- Les tamis de diamètre : 6300 μ m, 5000 μ m, 3150 μ m, 1000 μ m, 800 μ m, 500 μ m, 250 μ m, 200 μ m, 125 μ m, 80 μ m, 63 μ m et 40 μ m ;
- Papier filtre ;
- Entonnoir ;
- Eprouvette ;
- 12 Cristallisoirs ;
- Seau ;
- Flacon ;
- Four ;
- Balance.

b) Le mode opératoire :

- Prélèvement : On prélève un échantillon de chaque qualité par flacon pour réaliser 2 essais afin d'éviter les erreurs de tamisage.
- Quartage : a pour but d'homogénéiser le phosphate
- Tamisage humide : il est réalisé avec une série de tamis (série d'AFNOR).
- Mettre le tamis dont le diamètre d'ouverture (la maille) le plus grand dans un seau vide et verser l'échantillon.
- Faire un lavage du phosphate récupéré dans le tamis par l'eau de robinet pour le passage du maximum des grains ; verser de l'eau qui reste avec l'argile dans une éprouvette qui porte un entonnoir et papier filtre ;
- Mettre chaque tranche et papier filtre dans un cristallisoir ;
- Etuver tous les cristallisoirs dans un four réglée à 105°C pendant 4 heures, après refroidissement peser le contenu des tamis ;
- Après séchage et pesage, on calcul la masse totale des refus de chaque tamis puis on calcule le pourcentage poids existant dans chaque tranche granulométrique.



Photo 5: Matériels d'analyse granulométrique utilisée à la laverie de Safi

II.2. Analyses chimiques

Ces analyses ont pour but de déterminer les teneurs des principaux éléments présents dans le phosphate de qualité Normale(QN) et de qualité Tessenderlo(QT), afin de déterminer leur profil. La méthode d'analyse chimique utilisée est la spectrométrie d'émission atomique à couplage inductif (ICP-AES). Les éléments concernés par cette analyse sont P_2O_5 , Cd, MgO, SiO_2 .

ICP-AES est une méthode physique d'analyse chimique permettant de doser la quasi-totalité des éléments simultanément. Elle consiste à ioniser l'échantillon en l'injectant dans un plasma d'argon, c'est-à-dire que les atomes de la matière à analyser sont transformés en ions par une sorte de flamme extrêmement chaude : autour de 6 000 K pour les applications géochimiques.

Les résultats obtenus sont présentés dans les Tableaux (1, 2, 3 et 4). Les courbes granulométriques établies à partir de ces tableaux (Figure 10) montrent que les phosphates QT et QN présentent des d_{80} qui sont égaux de 245 μm et des d_{50} de 129 μm et 209 μm respectivement.

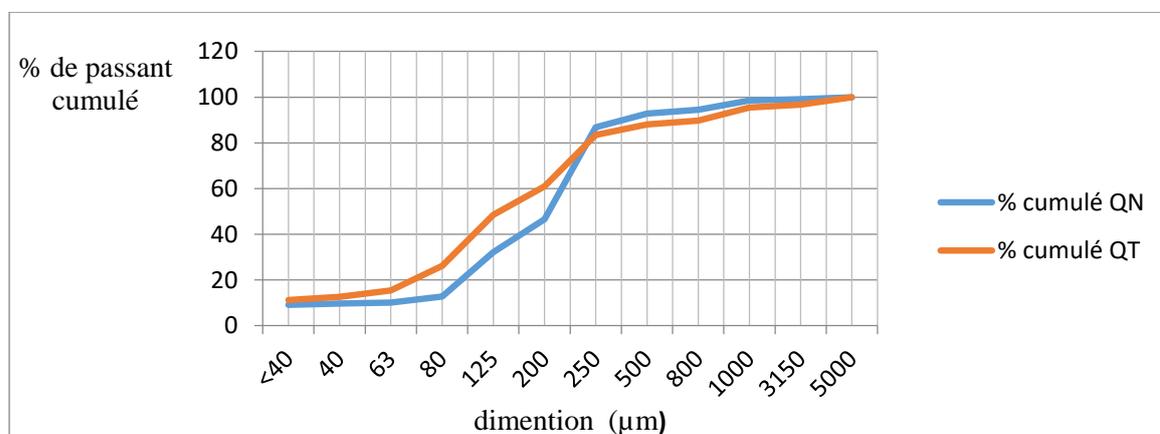


Figure 10 : Courbes granulométriques de QN et QT

D'après les analyses granulo-chimiques (Tableaux 1-4) on remarque :

* L'échantillon de qualité normale est plus riche en P_2O_5 (27,91%) que celui de qualité Tessenderlo (24,45%),

*L'échantillon de qualité Tessenderlo est très bon car sa teneur en Cd est de 9.87 ppm par rapport à qualité normale qui est de 11.44 ppm.

*Les deux échantillons présentent des faibles teneurs en MgO (0,95-1,52%).

*L'échantillon de qualité Tessenderlo présente des teneurs très élevés en SiO_2 de 17,35 % par rapport à la qualité normale qui est de 0,75 %.

De ces différentes analyses, il ressort que le phosphate est de bonne qualité (Tableau5)

Tableau 1 : Analyse granulo- chimique de P_2O_5 des phosphates de Benguérir.

tranches (μm)	Qualité Normale			Qualité Tessenderlo		
	masse en g	Teneur P_2O_5 (%)	% cumulé QN	masse en g	Teneur P_2O_5 (%)	% cumulé QT
5000	4,55	0	100	21,9	0	100
3150	2,95	0	99,12	9,15	0	96,77
1000	20,75	0	98,55	38,9	0	95,42
800	8,4	0	94,51	11,35	30,1	89,69
500	31,05	32,28	92,87	31,1	31,23	88,02
250	206,95	33,50	86,83	152,9	33,29	83,44
200	73,3	32,57	46,57	84,2	32,86	60,91
125	100,5	30,80	32,11	151,5	30,34	48,51
80	13,35	21,09	12,76	73,3	20,5	26,19
63	2,7	0	10,16	18,6	14,18	15,39
40	2,7	0	9,64	9,75	0	12,65
<40	46,8	13,85	9,11	76,1	13,99	11,21
Somme	514,00			678,75		
% P_2O_5	27,91			24,45		

Tableau 2 : Analyse granulo-chimique du cadmium des phosphates de Benguéir.

tranches (μm)	Qualité Normale		Qualité Tessenderlo	
	masse en g	Teneur Cd (ppm)	masse en g	Teneur Cd (ppm)
5000	4,55	28	21,9	24,3
3150	2,95	25,7	9,15	20,1
1000	20,75	16,9	38,9	21,2
800	8,4	11,4	11,35	10,6
500	31,05	14,9	31,1	12,6
250	206,95	8,1	152,9	5,25
200	73,3	6,1	84,2	4,75
125	100,5	7	151,5	5,45
80	13,35	9,9	73,3	6,65
63	2,7	14,2	18,6	7,9
40	2,7	11,2	9,75	9,89
<40	46,8	37,2	76,1	24,8
Somme	514,00		678,75	
Cd ppm	11,44		9,87	

Tableau 3 : Analyse granulo-chimique de MgO des phosphates de Benguéir.

tranches (μm)	Qualité Normale		Qualité Tessenderlo	
	masse en g	Teneur MgO (%)	masse en g	Teneur MgO (%)
5000	4,55	0,59	21,9	8,35
3150	2,95	4,55	9,15	3,4
1000	20,75	1,18	38,9	1,52
800	8,4	0,62	11,35	0,69
500	31,05	0,555	31,1	0,685
250	206,95	0,38	152,9	0,415
200	73,3	0,4	84,2	0,43
125	100,5	0,56	151,5	0,67
80	13,35	1,125	73,3	1,265
63	2,7	2,3	18,6	2,485
40	2,7	2,3	9,75	2,41
<40	46,8	5	76,1	4,8
Somme	514,00		678,75	
MgO %	0,95		1,52	

Tableau 4 : Analyse granulo-chimique de SiO₂ des phosphates de Benguéirir.

tranches (µm)	Qualité Normale		Qualité Tessenderlo	
	masse en g	Teneur SiO ₂ (%)	masse en g	Teneur SiO ₂ (%)
5000	4,55	0	21,9	11,16
3150	2,95	6,67	9,15	11,81
1000	20,75	4,02	38,9	5,12
800	8,4	3,695	11,35	5,59
500	31,05	4,79	31,1	6,18
250	206,95	0	152,9	4,13
200	73,3	0	84,2	4,32
125	100,5	0	151,5	13,81
80	13,35	0	73,3	32,96
63	2,7	38,12	18,6	44,62
40	2,7	0	9,75	22,94
<40	46,8	0	76,1	58
Somme	514,00		678,75	
SiO₂ %	0,75		17,35	

Tableau 5 : Résultats des analyses chimiques des éléments P₂O₅, Cd, MgO et SiO₂

Qualité Normale QN				Qualité Tessenderlo QT			
% P ₂ O ₅	Cd ppm	MgO %	SiO ₂ %	% P ₂ O ₅	Cd ppm	MgO %	SiO ₂ %
27,91	11,44	0,95	0,75	24,45	9,87	1,52	17,35

A partir de ce minerai, si on procède à l'élimination des tranches supérieures à 3.15mm et inférieures à 63 µm, le produit obtenu aurait les caractéristiques suivantes (Tableaux 6-9) et résumés dans le tableau 10. On observe que le pourcentage de P₂O₅ a augmenté et celles de Cd, MgO et SiO₂ ont diminué. Ceci montre que les coupures inférieures à 3,15mm et supérieures à 63 µm qui se font au niveau de la laverie de Safi sont efficaces pour améliorer la qualité des phosphates lavés.

Tableau 6 : Analyse granulo-chimique de P₂O₅ des tranches de 3150 µm à 63 µm

tranches (µm)	Qualité Normale			Qualité Tessenderlo		
	masse en g	masse de P ₂ O ₅	Teneur P ₂ O ₅ (%)	masse en g	masse de P ₂ O ₅	Teneur P ₂ O ₅ (%)
3150	2,95	0	0	9,15	0	0
1000	20,75	0	0	38,9	0	0
800	8,4	0	0	11,35	3,41635	30,1
500	31,05	10,02294	32,28	31,1	9,71253	31,23
250	206,95	69,3179025	33,50	152,9	50,90041	33,29
200	73,3	23,870145	32,57	84,2	27,66812	32,86
125	100,5	30,948975	30,80	151,5	45,9651	30,34
80	13,35	2,815515	21,09	73,3	15,0265	20,5
63	2,7	0		18,6	2,63748	14,18
Somme	459,95	136,98		571,00	155,33	
% P₂O₅	29,78			27,20		

Tableau 7 : Analyse granulo-chimique de Cd des tranches de 3150 µm à 63 µm

tranches (µm)	Qualité Normale			Qualité Tessenderlo		
	masse en g	masse de Cd	Teneur Cd (ppm)	masse en g	masse de Cd	Teneur Cd (ppm)
3150	2,95	0,75815	25,7	9,15	1,83915	20,1
1000	20,75	3,50675	16,9	38,9	8,2468	21,2
800	8,4	0,9576	11,4	11,35	1,2031	10,6
500	31,05	4,62645	14,9	31,1	3,9186	12,6
250	206,95	16,76295	8,1	152,9	8,02725	5,25
200	73,3	4,4713	6,1	84,2	3,9995	4,75
125	100,5	7,035	7	151,5	8,25675	5,45
80	13,35	1,32165	9,9	73,3	4,87445	6,65
63	2,7	0,3834	14,2	18,6	1,4694	7,9
Somme	459,95	39,82		571,00	41,84	
Cd ppm	8,66			7,33		

Tableau 8 : Analyse granulo-chimique de MgO des tranches de 3150 µm à 63 µm

tranches (µm)	Qualité Normale			Qualité Tessenderlo		
	masse en g	masse de MgO	Teneur MgO (%)	masse en g	masse de MgO	Teneur MgO (%)
3150	2,95	0,134225	4,55	9,15	0,3111	3,4
1000	20,75	0,24485	1,18	38,9	0,59128	1,52
800	8,4	0,05208	0,62	11,35	0,078315	0,69
500	31,05	0,1723275	0,555	31,1	0,213035	0,685
250	206,95	0,78641	0,38	152,9	0,634535	0,415
200	73,3	0,2932	0,4	84,2	0,36206	0,43
125	100,5	0,5628	0,56	151,5	1,01505	0,67
80	13,35	0,1501875	1,125	73,3	0,927245	1,265
63	2,7	0,0621	2,3	18,6	0,46221	2,485
Somme	459,95	2,46		571,00	4,59	
MgO %	0,53			0,80		

Tableau 9 : Analyse granulo-chimique de SiO₂ des tranches de 3150 µm à 63 µm

tranches (µm)	Qualité Normale			Qualité Tessenderlo		
	masse en g	masse de SiO ₂	Teneur SiO ₂ (%)	masse en g	masse de SiO ₂	Teneur SiO ₂ (%)
3150	2,95	0,196765	6,67	9,15	1,080615	11,81
1000	20,75	0,83415	4,02	38,9	1,99168	5,12
800	8,4	0,31038	3,695	11,35	0,634465	5,59
500	31,05	1,487295	4,79	31,1	1,92198	6,18
250	206,95	0	0	152,9	6,31477	4,13
200	73,3	0	0	84,2	3,63744	4,32
125	100,5	0	0	151,5	20,92215	13,81
80	13,35	0	0	73,3	24,15968	32,96
63	2,7	1,02924	38,12	18,6	8,29932	44,62
Somme	459,95	3,86		571,00	68,96	
SiO₂ %	0,84			12,08		

Tableau 10 : Résultats des analyses chimiques des éléments P₂O₅, Cd, MgO et SiO₂ après l'élimination des tranches (> 3,15mm et 63 µm <).

Tableau d'analyse de la qualité normale QN				Tableau d'analyse de la qualité Tsunderlow QT			
% P ₂ O ₅	Cd ppm	MgO %	SiO ₂ %	% P ₂ O ₅	Cd ppm	MgO %	SiO ₂ %
29,78	8,66	0,53	0,84	27,2	8,04	0,8	12,08

Chapitre 2: Etude critique de l'efficacité du crible de la ligne 1

I. Introduction

Dans l'objectif d'étudier l'efficacité du crible de la ligne 1, on a effectué une caractérisation granulométrique de son passant et son refus pour un échantillon du mois de Mai, pour pouvoir cibler l'endroit où on peut appliquer un plan d'amélioration en cas de dérèglement. Le contrôle, du crible au niveau de la laverie, se fait normalement quatre fois par mois. L'objectif de ce stage est de nous familiariser avec les techniques de contrôle de la marche de l'appareil.

II. L'opération de criblage à Maroc Phosphore II

Le criblage est une opération qui consiste à éliminer les stériles supérieurs à 3,15 mm au moyen d'un crible vibrant équipé d'une grille en acier inoxydable ou en matière synthétique, présentant des mailles de 3,5 * 3,5 mm au travers desquelles on cherche à faire passer aussi rapidement et aussi complètement que possible grâce à une forte amplitude du mouvement, les grains de dimensions inférieures à la maille et qui constituent le passant; par contre les grains de dimensions supérieures à la maille constituent le refus du crible (Figure 11).

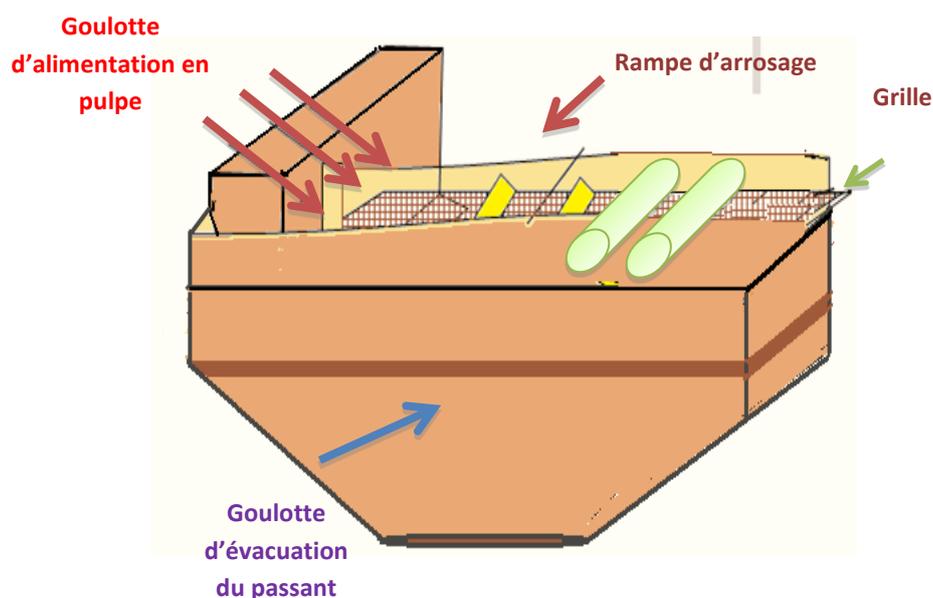


Figure 11: Les composants du crible

Le criblage est assuré par deux mouvements :

- ✳ **Vertical** : de bas en haut pour favoriser le criblage.
- ✳ **Horizontal** : Le mouvement du va et vient provoque l'évacuation du produit pour palier au problème de goujon âgé c'est-à-dire l'accumulation de stériles au fond du crible.

Le crible est équipé d'un système d'arrosage qui favorise la récupération des grains restant attachés avec le stérile. Le système d'entraînement du crible est à arbre excentrique et balourd entraîné par un moteur électrique.

III. Description du crible utilisé (Photo 6)

- Caisse avec membrures, raidisseur et consoles d'appui des suspensions.
- Mécanisme vibrateur à double balourd, sous carter étanche.
- Suspension par ressorts hélicoïdaux avec dispositif limiteur d'amplitude.
- Transmission avec accouplement direct avec carter de protection.
- Rampes de rinçage en Inox avec pulvérisateurs haute pression.
- Dispositif de dé-colmatage efficace par auto nettoyage permanent des grilles.
- Accessoires pour crible :
 - Châssis supports sous appui.
 - Caisse sous vibro chaudronnée avec raidisseur, revêtement intérieur caoutchouc.
 - Goulotte de sortie en acier, revêtement intérieur caoutchouté.



Photo 6: Processus du criblage

Les Caractéristiques techniques du crible utilisé sont :

Type : BI-ROL N°90 ; Débit unitaire : 220 T/h ; Pente : 5° ; Surface criblante : 1.8 * 2.5m (En 2 étages); Maille: 3,5 * 3,5 mm ; Puissance : 22 kW (2moteurs) ; Pression d'arrosage :

6bars ; Toile criblante : En acier Inoxydable haute résistance diamètre du fil 18/10 ;
Amortissement toile : Coussinet caoutchouc

IV. Etude critique de l'efficacité du crible

IV.1. Analyse granulométrique

Pour étudier l'efficacité du crible, on a prélevé en premier lieu deux échantillons représentatifs du passant et du refus en même temps (Figure 12). On a ensuite réalisé une analyse granulométrique selon la même procédure citée plus haut.

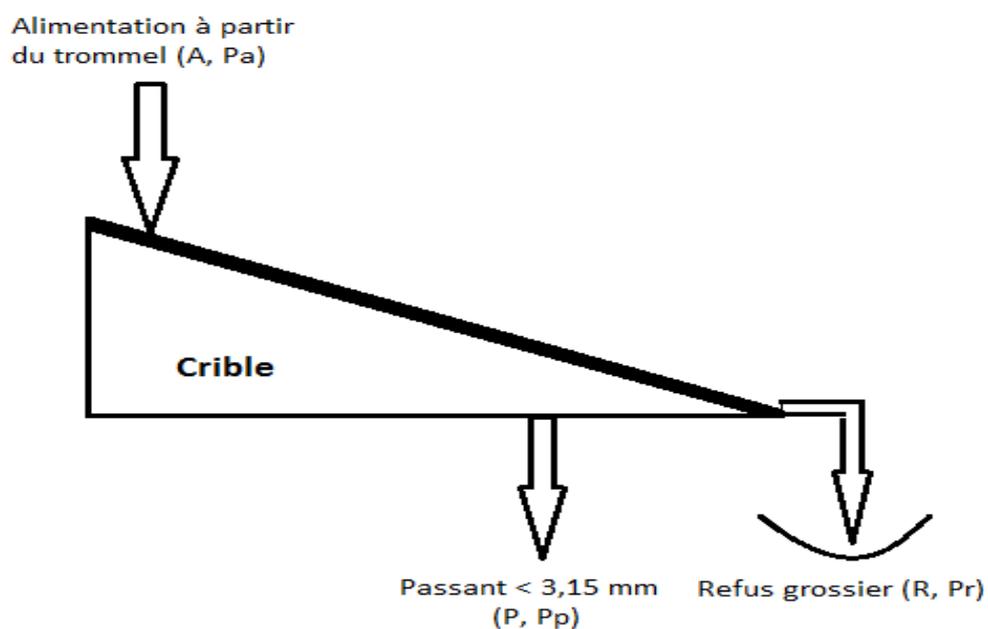


Figure 12 : Points d'échantillonnage au niveau du crible

Les résultats des analyses granulométriques du passant et du refus du crible de la ligne 1 de la laverie sont présentés dans le Tableau 11.

Les courbes granulométriques établies à partir du tableau 11 (Figures 13) montrent que le passant, le refus et l'alimentation reconstituée présentent des d_{80} de $488\mu\text{m}$, $5200\mu\text{m}$ et $5010\mu\text{m}$ respectivement et des d_{50} de $109\mu\text{m}$, $4100\mu\text{m}$ et $3250\mu\text{m}$ respectivement.

Tableau 11: Analyse granulométrique des produits du crible de la ligne 1

Tranches granulométriques en (μm)	Passant			Refus			Alimentation reconstituée		
	masse en g	% en masse Pp	% cumulé	masse en g	% en masse Pr	% cumulé	masse en g	% en masse	% cumulé
6300	0	0	100	412,9	44,5	100	412,9	36,33	100
5000	1,1	0,53	100	312,8	33,71	55,5	313,9	27,62	63,67
3150	13,4	6,43	99,47	178,2	19,2	21,79	191,6	16,86	36,04
1000	22,1	10,6	93,05	23,4	2,52	2,58	45,5	4	19,18
800	2,8	1,34	82,45	0	0	0,06	2,8	0,25	15,18
500	6,1	2,93	81,1	0	0	0,06	6,1	0,54	14,93
250	21,7	10,41	78,18	0	0	0,06	21,7	1,91	14,40
200	15,9	7,63	67,77	0	0	0,06	15,9	1,4	12,49
125	45,4	21,77	60,15	0	0	0,06	45,4	4	11,09
100	15,6	7,48	38,37	0,1	0,01	0,06	15,7	1,38	7,09
80	6,5	3,12	30,89	0	0	0,05	6,5	0,57	5,71
63	11,3	5,42	27,77	0	0	0,05	11,3	0,99	5,14
50	1,9	0,91	22,35	0,2	0,02	0,05	2,1	0,18	4,14
< 50	44,7	21,44	21,44	0,3	0,03	0,03	45	3,96	3,96
Somme	208,5	100		927,9	100		1136,4	100	

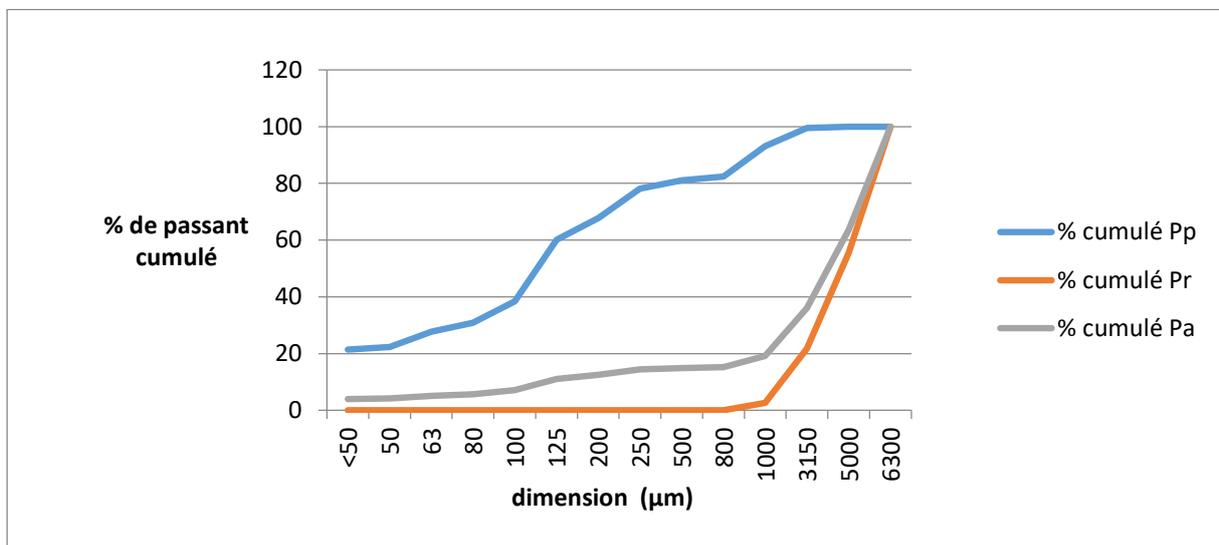


Figure 13 : Courbe granulométrique du passant, du refus et de l'alimentation reconstituée.

IV.2. Détermination de l'efficacité du crible

L'efficacité du crible est basée sur la proportion du produit tamisable entraîné avec le stérile. Elle s'écrit [3] :

$$E = p - r$$

Avec **p** : le passant tamisable ou le pourcentage des grains inférieurs à 3,15 mm dans le passant, et **r** : le passant refus ou le pourcentage des grains inférieurs à 3,15mm entrainé avec le stérile.

A partir du tableau 11, la valeur de p est 93,05 % et r est 2,59% par conséquent l'efficacité.

$$E = 90,46\%$$

Au sein de Maroc Phosphore II l'efficacité du crible doit être supérieure ou égale 96%, ce qui montre que le crible de la ligne I ne fonctionne pas bien parce que le pourcentage en passant entrainé avec le stérile est de 2,59% et le stérile entrainé avec le passant est de 6, 95%. Les problèmes généraux, les causes et leur impact sur l'efficacité du crible sont groupés dans le tableau 12. Sur ce tableau est ajouté le plan d'action proposé pour éviter l'inefficacité du crible. Les améliorations proposées sur le crible sont en cours d'exécution au niveau de la laverie de Maroc phosphore II.

Tableau 12 : Les actions d'amélioration pour gérer l'efficacité du crible

Problèmes	Causes	Impacts	Actions d'amélioration
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 involontaire 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.

Chapitre 3 : Etude de l'imperfection de hydrocyclone 34 de la ligne 1

I. Introduction

Dans l'objectif d'étudier l'imperfection de hydrocyclone Weires 34 de la ligne 1 de la laverie MPII, on a effectué une analyse granulométrique de la sousverse et de la surverse pour un échantillon du mois Mai. Le contrôle de la marche de l'hydrocyclone se fait généralement quatre fois par mois. L'objectif de ce stage est de nous familiariser avec les techniques de contrôle de la marche de l'appareil. Dans cette partie on s'est intéressé aux paramètres qui influencent la marche des hydrocyclones pour, en cas de dérèglement pouvoir diagnostiquer la situation et apporter rapidement la solution pour maintenir la qualité des produits. En effet l'imperfection est un paramètre qui affecte de manière directe la qualité et le rendement de l'opération du lavage du phosphate. Les résultats de cette étude peuvent être exploités pour effectuer les corrections nécessaires et apporter les améliorations adéquates.

II. L'Hydrocyclonage

L'hydrocyclonage est une classification dimensionnelle indirecte. Il s'agit d'une séparation par équivalence de densité et de granulométrie, c'est à dire qu'un gros grain léger se comporte de façon identique à un petit grain dense. Les deux grains se retrouvent par conséquent à la même sortie de l'appareil.

Un hydrocyclone se compose de deux parties principales (Figure 14) : Une partie cylindrique appelée « marmite » où se fait une alimentation tangentielle en pulpe ; présentant une cheminée (diaphragme) au centre par laquelle se fait l'évacuation des fines particules vers la surverse, et une partie conique « corps conique » terminée par une buse de sortie où se fait l'évacuation des particules grossières (sousverse).

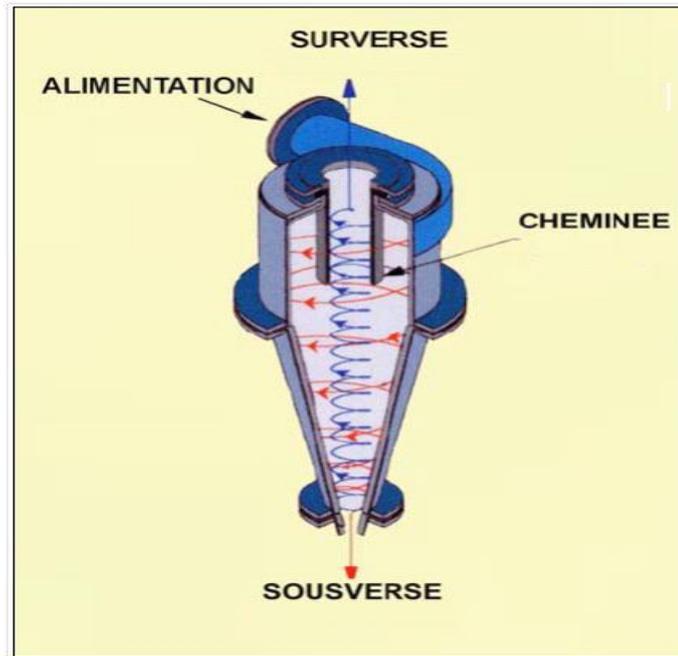


Figure 14 : Les composants d'un hydro cyclone

L'hydrocyclone utilisé dans la ligne 1 de laverie de Safi est caractérisé par certains paramètres résumés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Les paramètres du hydrocyclone :

Paramètres	hydrocyclones 34	hydrocyclones 41
Diamètre	800 mm	350 mm
Diamètre alimentation :	230 mm	110 mm
Diamètre sousverse	80 à 150 mm	50 à 60 mm
Diamètre surverse	320 à 350 mm	115 à 130 mm
Angle cône	22°	20°
Coupure	125 µm	63 µm

III. Les types des hydrocyclones et les paramètres qui influencent leurs coupures

III.1. Les types des hydrocyclones

Il y a deux types d'hydrocyclones utilisés à Maroc phosphore II : *hydrocyclone classificateur (34 et 41) et,*hydrocyclone épaisseur (37 et 44).

III.1.1. Hydrocyclone classificateur

L'hydrocyclone classificateur permet une classification des grains selon un diamètre de coupure (ou diamètre de partage), déterminé par la géométrie de l'hydrocyclone et les paramètres de marche (pression d'injection, granulométrie du produit, et la concentration de la pulpe) (Photo 7).



Photo 7: Hydrocyclone classificateur

III.1.2. Hydrocyclone épaisseur

L'hydrocyclone Épaisseur permet la séparation solide liquide. Dans ce cas la concentration en solides de la pulpe d'alimentation est de l'ordre de 40% en masse. La colonne d'air disparaît à peu près complètement, tandis que la sousverse s'effectue sous forme d'un boudin très concentré (teneur en eau de l'ordre de 30% en masse) (Photo 8).



Photo 8 : Hydrocyclone Épaisseur

III.2. Les paramètres qui influencent la coupure des hydrocyclones

Weires

III.2.1. Les paramètres de conception

- **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 laquelle 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.

III.2.2. Les variables d'opération d'un hydrocyclone

- **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. Etude de l'imperfection de hydrocyclone 34 de la ligne 1

IV.1. Analyse granulométrique

Pour faire une étude critique de l'imperfection de l'hydrocyclone 34, on prend, simultanément, deux échantillons de même volume de surverse et de sousverse (Figure 15) et on réalise une analyse granulométrique selon la même procédure citée plus haut.

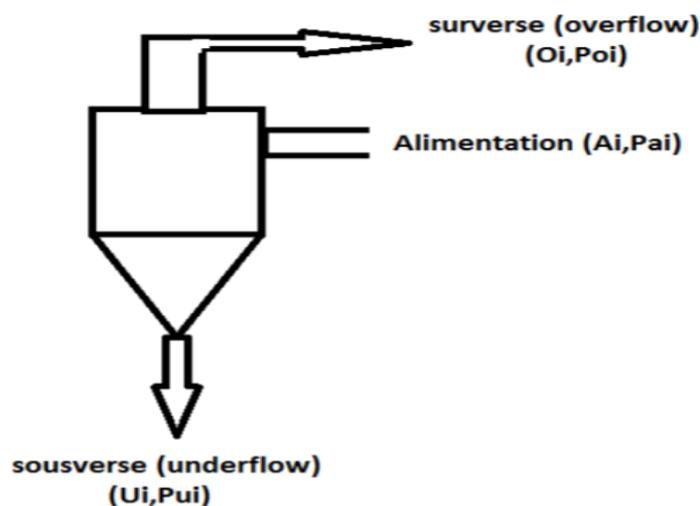


Figure 15: Points d'échantillonnage au niveau du hydrocyclone

Les résultats de l'analyse granulométrique des produits de la sousverse et de surverse de l'hydrocyclone Weires 34 de la ligne I sont présentés dans le tableau 13.

Les courbes granulométriques établies à partir du tableau 14 (Figure 16) montrent que la sousverse, la surverse et l'alimentation reconstituée présentent respectivement des d80 de 238µm, 112µm et 223µm et des d50 de 192µm, 55µm et 174 µm respectivement.

Tableau 14: Analyse granulométrique de hydrocyclone Weires 34 de la ligne 1

Tranches granulométriques en (µm)	Sousverse			Surverse			Alimentation reconstituée		
	masse Ui (g)	% en masse Pui	% cumulé	masse Oi (g)	% en masse Poi	% cumulé	masse Ai (g)	% en masse Pai	% cumulé
3150	24	2,11	100	0	0,00	100	24	1,80	100
1000	98,4	8,64	97,89	0	0,00	100	98,4	7,40	98,20
800	28,5	2,50	89,25	0	0,00	100	28,5	2,14	90,80
500	100,9	8,86	86,74	0,5	0,26	100	101	7,62	88,66
250	315,2	27,69	77,88	4,2	2,19	99,74	319	24,01	81,04
200	231,7	20,35	50,19	3,7	1,93	97,56	235	17,69	57,03
125	265,3	23,31	29,83	42,3	22,01	95,63	308	23,12	39,34
100	18,4	1,62	6,53	16,1	8,38	73,62	34,5	2,59	16,22
80	23,8	2,09	4,91	22,6	11,76	65,25	46,4	3,49	13,63
63	9,1	0,80	2,82	9,3	4,84	53,49	18,4	1,38	10,14
50	2,4	0,21	2,02	2,9	1,51	48,65	5,3	0,40	8,76
<50	20,6	1,81	1,81	90,6	47,14	47,14	111	8,36	8,36
Somme	1138,3	100,00		192,2	100,00		1331	100,00	

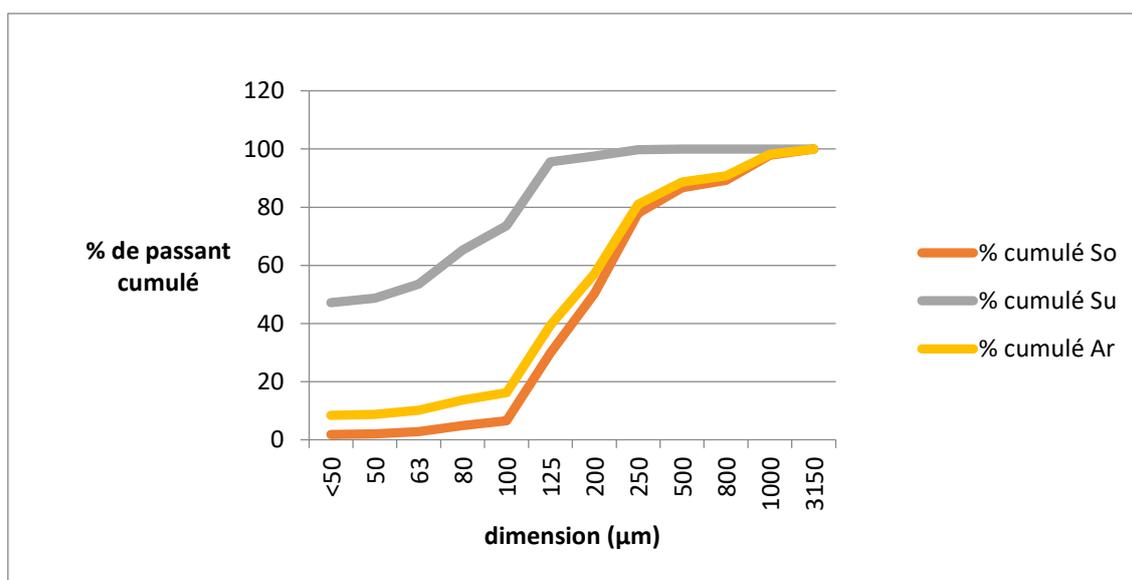


Figure 16: Courbe granulométrique de la sousverse, de la surverse et de l'alimentation reconstituée

IV.2. Détermination de l'imperfection de l'hydrocyclone 34 de la première ligne

L'étude du bon fonctionnement des hydrocyclones est basée sur l'utilisation de la courbe de partage. Cette courbe est un outil qui nous renseigne sur la qualité, l'efficacité ainsi que sur la rentabilité d'un appareil de classification, elle est très utile. La pente de la courbe de partage représente l'imperfection de l'hydrocyclone qui caractérise leur fonctionnement.

Dans le domaine de bon fonctionnement la valeur de l'imperfection doit être comprise entre 0,2 et 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 [3].

L'imperfection s'écrit [3]:

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

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} .

Le nombre de partage est le rapport de la masse d'une tranche dans la sousverse sur la masse de la même tranche dans l'alimentation. Si P_U est le pourcentage en masse des tranches dans la sousverse, P_A le pourcentage en masse des tranches dans l'alimentation, le nombre de partage Y est [3]:

$$Y = \frac{U * P_U}{A * P_A} * 100$$

Avec A : débit du solide massique de l'alimentation ;

U : débit du solide massique de sousverse.

La relation du nombre de partage pour chaque tranche granulométrique i s'écrit (Mtahri, 2016) :

$$Y_i = \frac{U_i * P_{ui}}{(U_i * P_{ui}) + (O_i * P_{oi})} * 100$$

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.

Selon les équations des bilans matières :

$$A_i = U_i + O_i$$

$$A_i * P_{ai} = U_i * P_{ui} + O_i * P_{oi}$$

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

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

Le rendement poids moyen s'écrit ; $R_m = \frac{U_i}{A_i} = \frac{U_i}{U_i + O_i}$

On pose :

$$G = \frac{U_i}{A_i} * P_{ui} = R_m * P_{ui} \text{ et } H = \frac{O_i}{A_i} * P_{oi} = (1 - R_m) * P_{oi}$$

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

Les valeurs de G et H seront déduites à partir des données de tableau 14. Ces valeurs permettent de déduire le nombre de partage pour chaque tranche granulométrique de hydrocyclone (Tableau 15).

Tableau 15 : Calcul de nombre de partage pour hydrocyclone Weires 34

d	log (d)	Nombre de partage
1575	3,20	100
2075	3,32	100
900	2,95	100
650	2,81	99,27
375	2,57	98,04
225	2,35	97,66
162,5	2,21	78,55
112,5	2,05	29,21
90	1,95	26,78
71,5	1,85	24,68
56,5	1,75	20,24
25	1,40	2,77

Le tracé de la courbe de partage pour l'hydrocyclone étudié, à partir des données de tableau 15 (Figure 17), représentant le nombre de partage en fonction de Log (d) avec (d, le centre des tranches granulométrique), permet de déterminer les dimensions d₂₅, d₅₀ et d₇₅ pour l'hydrocyclone 34.

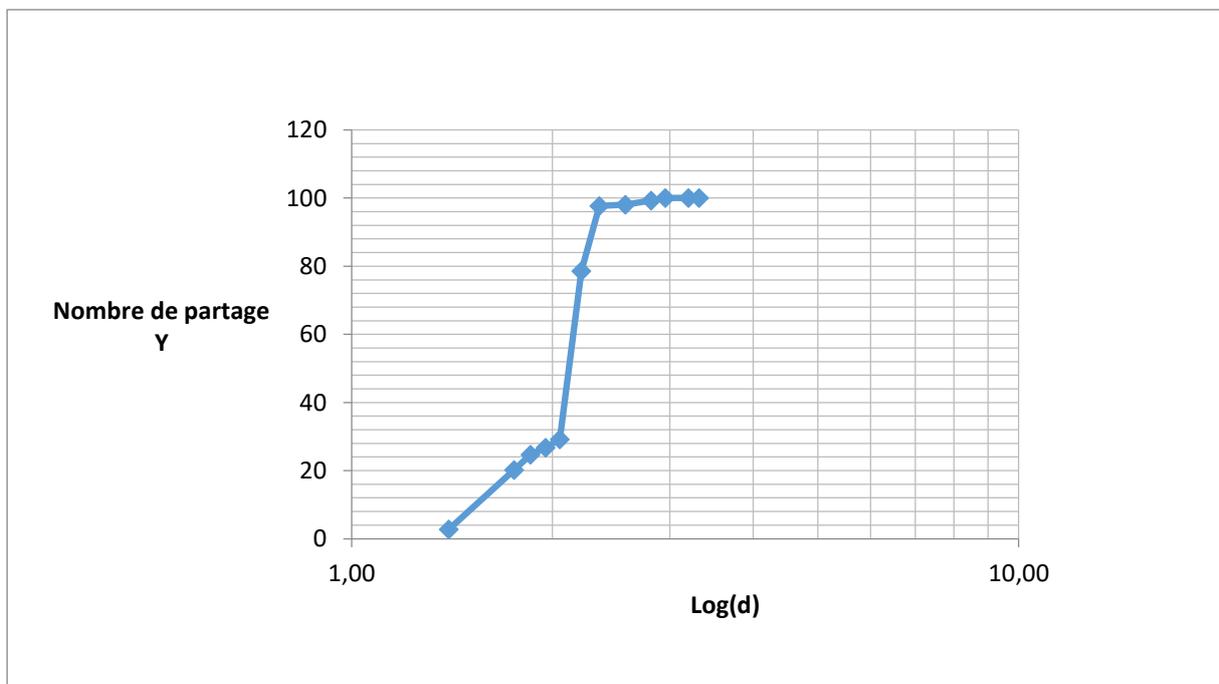


Figure 17: Courbe de partage du hydrocyclone 34, ligne 1

Ces dimensions nous conduisent au calcul de l'imperfection I par la relation suivante :

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{d}_{75} - \mathbf{d}_{25}}{2 * \mathbf{d}_{50}} = \frac{158,49 - 71,50}{2 * 117,49} = 0,37$$

C'est une valeur qui nous montre que l'hydrocyclone 34 travaille dans un domaine du bon fonctionnement et effectue une bonne coupure et ne nécessite donc aucunes interventions en vue d'améliorer la qualité des produits.

CONCLUSION GENERALE

Notre stage au sein de la laverie de Maroc phosphore Safi nous a permis de nous familiariser avec le procédé de lavage utilisé pour traiter le minerai de phosphate de Benguérir, et de connaître les exigences et les paramètres influençant le traitement ainsi que les problèmes qui entravent le bon fonctionnement de la laverie.

Le contrôle des performances du crible et de l'hydrocyclone 34 de la ligne 1 lors de notre stage, a permis de mettre en évidence que l'hydrocyclone fonctionne dans de bonnes conditions alors que le crible est inefficace. 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. C'est pour cette raison qu'on a proposé des améliorations pour éviter ce problème :

- Control préventif ;
- Changer les panneaux dégradés ;
- Réparation des buses bouchées ;
- Utilisation d'un système d'arrosage ;
- Changement immédiat des ressorts défectueux.

Il faut noter que ces résultats sont obtenus lors d'un seul contrôle alors que normalement les contrôles sont effectués quatre fois par moi.

Références bibliographiques

BADIOUI Kaoutar & KAMUANYA KALOMBO Victoire, 2015, Eude stratigraphique listing case et estimation des réserves des couches 4 et 5 du panneau 5, Mémoire de licence, Faculté des Sciences et techniques, Fès, 60p.

Lenoble, A. Salvan, H. Ziegler, V, 1952, Découverte de l'uranium dans les niveaux phosphatés du Maroc. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 234, No 9, pp. 976-977.

MTAHRI Maha, 2016, Etude de l'efficacité des cribles et des hydrocyclones au sein de la laverie de Maroc Phosphore II, Mémoire de master, Faculté des sciences et techniques, Fés, 57p.

Moutaouakil, D, 1990, Sédimentologie et Minéralisation des Phosphates Ceno Mésozoïque du Sud du Bassin des Ouled Abdoun (Maroc) ; Application à la Géochimie de L'Uranium. Thèse de 3ème cycle. Soutenue à Perpigna.

Slansky, M, 1980, Géologie des phosphates sédimentaires. Mémoire du BRGM n° 114.

[1] : Document interne de l'OCP de Safi.

[2] : Catalogue produit – laverie IDS, 2009, Safi, 25p.

[3] : Formation continue, 2012, Traitement des phosphates, procédé de lavage Safi, 96p.

Site : UsGeological Survey 2011.