

Année Universitaire : 2020-2021

**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

Suivi et contrôle de qualité du BPL de la laverie MEA

Présenté par :

Oumayma BAMMOU

Encadré par :

Mme. Pr SQALLI.O (FST)

Mr. Adil BENBAOUALI (OCP)

Soutenu Le 16 Juillet devant le jury composé de :

- **Pr. SQALLI.O**
- **Pr. ZEROUAL.A**
- **Pr. MISBAHL.K**

Stage effectué à : l'Office Chérifien des Phosphates de Khouribga

Remerciements

« Nous remercions tout d'abord, sans fin, notre Dieu ALLAH pour ses innombrables bienfaits »

Il m'est agréable de s'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet, a favorisé son aboutissement.

J'ai le grand plaisir d'adresser mes vifs remerciements à mes responsables de stage, Mr Adil BENBAOUALI, Mme MALIKI Meryam et Mr Hicham SEKKAFI pour leurs encadrements et les moyens qui ont mis à notre disposition pour accomplir mon stage de fin d'études dans les meilleures conditions.

J'adresse mes sincères remerciements à M. Mustapha EJAALI le doyen de la faculté des Sciences et Techniques de Fès, M. Abdallah OULMEKKI le responsable du master ST GMP : Génie des Matériaux et des Procédés.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Mme SQALI Ouafae mon encadrante pédagogique à la FST Fès pour son encadrement, ces conseils au fur et à mesure de déroulement de mon stage, et à tous nos enseignants qui nous ont préparé théoriquement et pratiquement durant les deux ans de formation, ainsi que tout le corps administratif de la FST de Fès.

Je témoigne ma grande gratitude aux professeurs ZEROUAL.A et MISBAHI.K pour m'avoir honoré et accepté d'examiner et de juger mon travail.

Aussi, je voudrais remercier de mon cœur toute personne, qui m'a aidé du près ou du loin, afin d'accomplir ce modeste travail par un conseil, orientation, documentation, suggestion ou un simple encouragement.

Je dédie ce travail

A Allah le Tout-puissant pour sa Grâce et son Amour,

A mes parents qui m'ont toujours tendu la main, quand j'en avais vraiment besoin,

A mes adorables sœurs, et mon frère, pour leurs soutiens et leurs amour inépuisable,

A toutes les personnes qui ont veillé à ce que ce travail soit à la hauteur,

A l'ensemble du corps administratif et pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, qui a su être présent pendant ces deux années et pour qui je dois tout le mérite, de nous avoir guidés vers le chemin de la réussite.

Listes des figures

FIGURE 1:CARTE DES PRINCIPAUX SITES D'IMPLANTATION D'OCP-SA AU MAROC	4
FIGURE 2:ORGANIGRAMME DE GROUP OCP-SA.....	6
FIGURE 3:LAVERIE MERAH.....	9
FIGURE 5:COURBE DE GAUSS DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DU PHOSPHATE	11
FIGURE 6:SYSTEME D'ALIMENTATION DE CHAQUE CHAINE DE LAVAGE.....	12
FIGURE 7:LE DEBOURBEUR	13
FIGURE 8:LE CRIBLE	13
FIGURE 9:L'ALIMENTATION DE MISE A TERRIL.....	14
FIGURE 10:ALLURE GENERALE DE L'ECOULEMENT DE LA PULPE DANS UN HYDROCYCLONE.....	15
FIGURE 11:SCHEMA D'UN CONVOYEUR SEPARATEUR.....	15
FIGURE 12:CONVOYEUR SEPARATEUR SOLIDE-LIQUIDE.....	16
FIGURE 13:BROYEUR.....	16
FIGURE 14:PRINCIPE DE FLOTTATION	17
FIGURE 15:LES DECANTEURS	18
FIGURE 16:PROCESSUS DU TRAITEMENT DU PHOSPHATE DANS LA SECTION DE L'ADAPTATION...26	
FIGURE 17:DEMARCHE THEORIQUE POUR APPLIQUER LA MSP	22
FIGURE 28:INDICATEUR DE CAPABILITE Cp	24
FIGURE 19:PROCEDE DEREGLE DU COTE SUPERIEUR A LA MOYENNE, NECESSITE D'UN INDICATEUR Cpk	24
FIGURE 20:LES COEFFICIENTS POUR CALCULER LES LIMITES D'UNE CARTE DE CONTROLE.....	26
FIGURE 21:ETUDE DE NORMALITE POUR BPL DE L'ECHANTILLON EST.....	40
FIGURE 22:CARTE DE CONTROLE DE BPL DE L'ECHANTILLON EST.....	42
FIGURE 24:ETUDE DE NORMALITE POUR BPL DE L'ECHANTILLON DE OUEST.....	50
FIGURE 25:CARTE DE CONTROLE POUR BPL DE L'ECHANTILLON OUEST.....	51
FIGURE 26:CAPABILITE DE PROCEDE APRES L'ELIMINATION DES POINTS HORS CONTROLE	51
FIGURE 27 :ETUDE DE NORMALITE DE BPL A L'ENTREE.....	53
FIGURE 28:CARTE DE CONTROLE POUR BPL A L'ENTREE.....	54
FIGURE 29:CAPABILITE DU PROCEDE POUR BPL A L'ENTREE HG.....	54
FIGURE 30:ETUDE DE NORMALITE DE LA DISTRIBUTION A LA SORTIE HG.....	56
FIGURE 31:CARTE DE CONTROLE POUR BPL A LA SORTIE HG.....	57
FIGURE 32:CAPABILITE DU PROCEDE POUR BPL A LA SORTIE HG	57

Listes des tableaux

TABLEAU 1:HISTORIQUE DU GROUPE OCP	3
TABLEAU 2:CLASSIFICATION DU PHOSPHATE SELON SA TENEUR EN BPL/ P2O5	10
TABLEAU 3:CAPACITE DES SECTIONS DE LAVERIE MEA	11
TABLEAU 4:RESULTATS DE SUIVI DURANT LE MOIS 5	31
TABLEAU 5:LES DONNEES POUR LE BPL DE L'ECHANTILLON EST	32
TABLEAU 6: LES DONNEES DE CALCUL POURHC5	45
TABLEAU 7:LES DONNEES POUR LE BPL DE L'ECHANTILLON OUEST.....	49
TABLEAU 8:LES DONNEES POUR LE BPL A L'ENTREE HG	52
TABLEAU 9:LES DONNEES POUR LE BPL A LA SORTIE HG	55
TABLEAU 10:LES DONNEES DE CALCUL POUR HC1	58
TABLEAU 11:LES DONNEES DE CALCUL POUR HC2	59
TABLEAU 12:LES DONNEES DE CALCUL POUR HC3	60
TABLEAU 13:LES DONNEES DE CALCUL POUR HC4	61

Table des matières

Introduction générale	1
Première partie : Présentation de l'organisme d'accueil	2
I. Introduction	3
II. Présentation du Groupe OCP	3
1. Historique et évolution	3
2. Cadre géographique	4
3. Statut juridique	5
4. Activités du Groupe.....	5
5. L'organigramme du groupe OCP.....	6
III. Généralité sur le phosphate	6
1. Phosphate.....	6
2. Usages des phosphates.....	7
3. Gisement du phosphate au niveau internationale	7
4. Gisement du phosphate au Maroc	7
Deuxième partie : Aperçu sur le lieu de stage	8
I. Présentation de la laverie MEA	9
1. Introduction.....	9
2. L'objectif.....	9
3. Minerai à traiter	10
4. Les chaines de production de la laverie	11
II. Description des procédés de la laverie MEA	12
1. Procédé de lavage	12
2. Description du procédé de broyage.....	16
3. Procédé de traitement des phosphates dans la section flottation.....	16
4. Section de la décantation.....	17
5. Procédé de traitement des phosphates dans la section d'adaptation.....	18
6. Manutention et Stockage.....	19
7. Description de la ligne HG (7eme ligne)	19
Troisième partie : Généralité sur la maîtrise statistique des procédés	20
I. M.S.P et qualité	21
1. Définition d'un processus	21
2. Définition de M.S.P.....	21
3. Objectifs et Intérêt.....	21
4. Les avantages de la méthode maîtrise statistique des procédés	21
5. Principe	21
6. Franchir les 4 étapes clés de la méthode	22

II.	Origine de la variabilité	23
1.	Causes de variations	23
III.	Loi normale	23
1.	Définition	23
2.	Droite de Henry	23
IV.	Capabilité d'un procédé	24
1.	Notion de capabilité	24
2.	Les indices de capabilité Cp et Cpk :	25
V.	Carte de contrôle	25
1.	Définition	25
2.	Etapes de mise en place d'une carte de contrôle	26
3.	Les étapes de réalisation de la carte de contrôle par mesure	26
4.	Lire et interpréter une carte de contrôle	27
VI.	Analyse de cause-effet (5M ou diagramme d'Ishikawa) :	27
Quatrième partie : Traitement de sujet et présentation de résultats		28
I.	Introduction	29
II.	Position de sujet	29
III.	Enonce du plan	29
IV.	Le paramètre critique	29
V.	Les points de contrôles	30
VI.	Le choix de carte de contrôle	30
VII.	Suivi et contrôle de qualité au niveau des carreaux, l'entrée de la ligne HG et à la sortie de la ligne HG	30
VIII.	Exemple prototype d'étude de cas	32
IX.	Analyse des causes	35
1.	Diagramme d'Ishikawa	35
2.	Interprétation : méthode des 5M	42
X.	Suivi de la granulométrie	43
Conclusion		48
Annexes		49

Liste d'abréviation

BPL : Bonne Phosphate Of Lime = phosphate à base de calcium

BT : Basse teneur

HT : Haute teneur normale

HG : Highgrade

HTM : Haute teneur moyenne

HC : Hydrocyclone

HD : Hydrosizer.

LIC : limite inférieure de contrôle.

LSC : limite supérieure de contrôle.

LC : limite de contrôle

OCP : Office Chérifien des Phosphates.

MEA: Mrah El Ahrach

MSP : Maitrise statistique des procédés

MT : Moyenne teneur

5 M : Matière, Matériel, Méthode, Main-d'œuvre, Milieu.

SHT : Super haute teneur

TBT : Très Basse Teneur

THT : Très haute teneur

TI : Tolérance inférieure.

TS : Tolérance supérieure

Introduction générale

Le Maroc est un pays de très grande tradition minière caractérisé par la diversité des substances minérales qui existent dans son sous-sol, les phosphates constituent sa principale richesse.

Le phosphate brut tel qu'il extrait de la mine, nécessite un traitement davantage pour atteindre des qualités exigées par les clients, cette dernière est devenue une priorité mondiale dont nombreux organismes ont tiré bénéfices de ses pratiques, La gestion de la qualité est essentielle pour le succès de tout organisme et c'est la raison pour laquelle de nombreux organismes s'engagent dans les processus de l'amélioration continue pour assurer leur avenir, les entreprises ne cessent de chercher les moyens d'augmenter leur productivité.

Les entreprises qui accordent une attention à la gestion de la qualité se sont révélées être plus performantes et compétitives. Afin d'améliorer la qualité des produits, pour faire face à la concurrence du marché, aux demandes des clients et aux changements rapides des innovations technologiques, l'Office Chérifien des Phosphates met en œuvre des systèmes de la qualité qui visent l'amélioration continue.

Le contrôle est généralement considéré comme la pierre essentielle de la qualité, c'est le filtre qui permet de ne livrer que les produits de bonne qualité, donc il faut détecter la non-conformité au plus près du poste ou elle a été produite, un défaut prévu coûte cent fois moins cher qu'un défaut constaté.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail, effectué au sein du groupe OCP, qui comme toute entreprise ambitieuse, a inscrit parmi ses objectifs, l'amélioration de ses performances, afin de développer son procédé, en effet l'objectif de notre projet s'inscrit pleinement dans cette politique, nous nous sommes intéressés au suivi de contrôle de qualité et digitalisation de suivi de performance qualité de la laverie MEA, pour laquelle va traiter les points suivants :

- Suivi et contrôle de qualité au niveau des carreaux et de l'entrée de la laverie.
- Suivi et amélioration de performance qualité de la ligne HG.

C'est dans cette optique que nous avons essayé d'instaurer la Maîtrise Statistique des Procédés, c'est un outil qui s'inscrit dans une stratégie de prévention pour améliorer la qualité d'une production. Elle comporte une suite d'analyses comme une réflexion sur le processus, l'identification des caractéristiques significatives du processus et du produit, la validation de l'équipement de production et de son aptitude à fournir ce qu'on attend de lui, et enfin la mise en place de cartes de contrôle. Cette démarche s'insère dans une stratégie globale où elle donne de très bons résultats et son application s'étend de plus en plus à tous les secteurs d'activité.

Par conséquent, le rapport sera scindé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation générale du groupe OCP et ses activités principales ainsi une généralité sur le phosphate.
- Le deuxième chapitre est réservé pour une description globale de la chaîne de production de la laverie MEA toute en se focalisant sur la ligne HG.
- Le troisième chapitre porte sur l'étude bibliographique de la théorie de la méthode MSP.
- Le quatrième et dernier chapitre est consacré au traitement du sujet et la discussion de leurs résultats et nous finissons par une conclusion générale.

Première partie : Présentation de l'organisme d'accueil

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'organisme d'accueil l'office chérifien des phosphates (OCP), qui m'a accueilli dans le cadre de mon stage. Également des généralités sur les phosphates.

II. Présentation du Groupe OCP

Le Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP) est un opérateur international dans le domaine de l'industrie du phosphate et des produits dérivés. Le phosphate brut extrait du sous-sol Marocain est exporté tel qu'il est, ou livré aux industries chimiques du Groupe à Jorf Lasfer ou à Safi pour être transformé en produits dérivés commercialisable : acide phosphorique purifié, engrais solides.

Le dahir du 27/01/1920 réserve à l'état Marocaine le droit exclusif de la recherche et l'exploitation du phosphate dans l'ensemble du territoire. Celui de la 07/08/1920 porte sur la création de l'OCP comme établissement public qui doit fonctionner dans les mêmes conditions qu'une entreprise privée à caractère industriel et commercial [1].

1. Historique et évolution

Plus de 90 années sont écoulées depuis la création de l'OCP, années marquées par des réalisations et des développements :

Tableau 1: Historique du groupe OCP

Année	Evènement
7 Aout 1920	Création de l'office chérifien de phosphate
1921	Début d'exploitation dans la région d'OUED ZEM
23 juillet 1921	Première exportation de phosphate
1930	Ouverture d'un nouveau centre de production de phosphate : Youssoufia
1950-1952	Mise en œuvre de la méthode d'extraction en découverte à Khouribga
1958	Création d'un centre de formation professionnelle à Khouribga, en renforçant des efforts menés, depuis des décennies sur ce plan : puis, création par la suite d'autres unités de formation : école de maîtrise de Boujniba
1960-1965	Développement de la mécanisation du souterrain à Youssoufia. Démarrage de Maroc chimie à Safi.
1970-1975	Création du groupe OCP, structure organisationnelle Intégrant l'OCP et ces entreprises filiales
1980	Partenariat industriel en Belgique
1986	Démarrage du site de Jorf Lasfer avec Maroc phosphore 3-4.
1990	Exploration des nouveaux projets de partenariat industriels et de renforcement de capacités.
2000	Démarrage unité de flottation de phosphate à Khouribga.
2002	Prise de participation dans la société indienne PPL en joint-venture avec le Groupe Birla
2003	L'OCP est devenu le seul actionnaire de Phousboucraa.
2004	Création de la Société ''Pakistan Maroc Phosphore'' S.A en Jointventure entre l'OCP et Fauji Fertilizer Bin Qasim Limited (Pakistan).

2008	Transformation du groupe OCP en SA (société anonyme).
18 mars 2009	Démarrage de l'exploitation de Bunage Maroc Phosphore (BMP)
Juin 2010	Mise en service de laverie de Merah Lahrech au niveau de la commune M'fassis.
Décembre 2010	Lancement du projet slurry pipeline reliant Khouribga à Jorf Lasfer s'étendra sur une longueur totale de 235 km et transportera 38 km/an.
2012	Ouverture de la mine d'Al-hallassa l'une des trois nouvelles mines sur le site de Khouribga s'étalant sur une surface de 1976 hectares d'une capacité de production 6,7 Mt/an
2014	Démarrage programmé du projet Pipeline sur l'axe Khouribga-Jorf Lasfer sur une longueur de 235 km
2016	Lancement de deux projets industriels de l'OCP à Jorf Lasfer : une usine de production d'engrais et de la première phase d'une usine de dessalement d'eau de mer.

2. Cadre géographique

La direction générale du groupe O.C.P est située à Casablanca, route d'El Jadida depuis 1979. Elle était auparavant à Rabat depuis la création de l'office.

Les sites d'exploitation des phosphates sont répartis sur cinq zones géographiques du pays de cette manière : nous trouvons 3 sites d'exploitations minières : Khouribga, Benguerir - Youssoufia, Boucraa - Laayoun et 2 sites de transformation chimique : Safi et Jorf Lasfer.

On outre, l'OCP dispose de quatre ports d'embarquement :

- Casablanca : pour les produits provenant de Khouribga.
- Safi : pour les produits de Youssoufia, Benguerir et les produits transformés localement.
- Laâyoune : pour les produits de Boucraâ.
- Jorf Lasfar : pour les produits locaux.

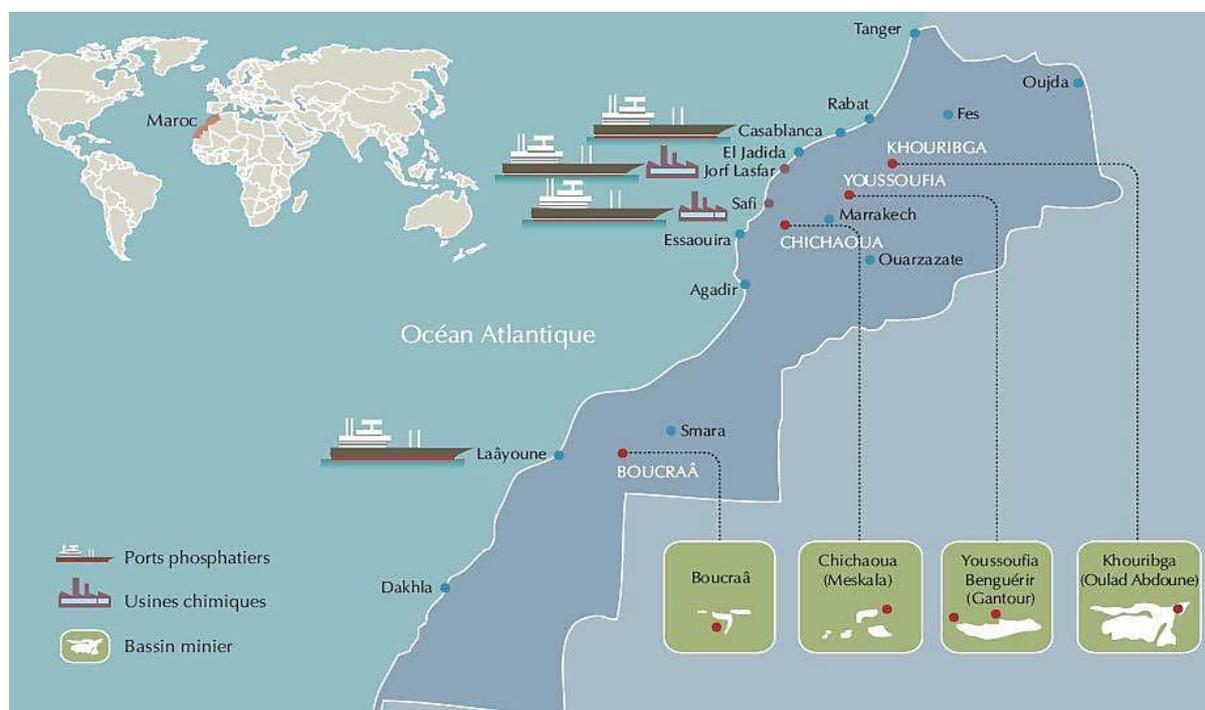


Figure 1: Carte des principaux sites d'implantation d'OCP-SA au Maroc

3. Statut juridique

L'OCP est une entreprise semi-publique, la nature de son activité est à la fois commerciale et industrielle.

Elle bénéficie de l'autonomie d'une entreprise privée. L'état n'intervient en aucun cas dans la gestion financière de l'OCP. Son directeur général est nommé par le Dahir Royal qui est contrôlé par un conseil d'administration présidé par le premier ministre. En ce qui concerne le personnel du groupe OCP il est soumis à une loi fondamentale appelée 'Statut des mineurs'.

Il est institué selon le dahir n°1-60-007 daté le 24 décembre 1960 concernant le règlement fondamental du personnel des entreprises minières. La dernière organisation des filiales des directions et des divisions qui constitue le groupe OCP, fonctionne sous l'autorité du directeur général [1].

4. Activités du Groupe

Le Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP) est spécialisé dans l'extraction, la valorisation et la commercialisation de phosphate et de produits dérivés. Chaque année, plus de 23 millions de tonnes de minerais sont extraites du sous-sol marocain qui recèle les trois-quarts des réserves mondiales. L'OCP maîtrise toute la chaîne de création de valeur de l'industrie phosphatée : extraction et traitement du minerai, transformation de cette matière première en un produit liquide intermédiaire, l'acide phosphorique, et fabrication des produits finis par concentration et granulation de cet acide ou par purification : engrais, acide phosphorique purifié.

L'OCP alors a pour rôle de gérer les réserves du pays en matière de phosphate selon des étapes et des opérations bien précises :

L'Extraction : c'est la première opération qui se fait soit en découverte soit en galeries souterraines. Elle consiste à extraire le phosphate de la terre et s'exécute en quatre phases :

- Forage : creuser plusieurs trous.
- Sautage : il s'effectue à l'aide des explosifs afin d'améliorer la fragmentation du terrain et faciliter le décapage.
- Décapage : il consiste à enlever les terrains ébranlés par une dragline pour arriver aux tranches phosphates
- Défruitage : il s'agit de récupérer le phosphate mis à nu et le charger dans des camions.

Le Traitement : c'est une opération nécessaire qui se fait après l'extraction, elle a pour but d'enrichir le minerai en améliorant sa teneur, les différents traitements sont :

- Lavage : il permet l'enrichissement du phosphate de basse teneur (BT) par lavage à l'eau. Enrichissement à sec : il vise le même objectif que le lavage, mais sans utilisation d'eau, il s'agit un traitement pneumatique sur le phosphate séché.
- Flottation : elle permet l'enrichissement du phosphate de très basse teneur (TBT).
- Calcination : elle permet d'éliminer les matières organiques des phosphates.
- Séchage : il permet de réduire l'humidité de phosphate à 2 %.

Le Transport : une fois le phosphate extrait puis traité, il est transporté vers les ports de Casablanca, Safi ou El Jadida, à destination des différents pays importateurs.

La Vente : le phosphate est vendu, selon les demandes des clients, soit brut, soit après traitement [1].

5. L'organigramme du groupe OCP

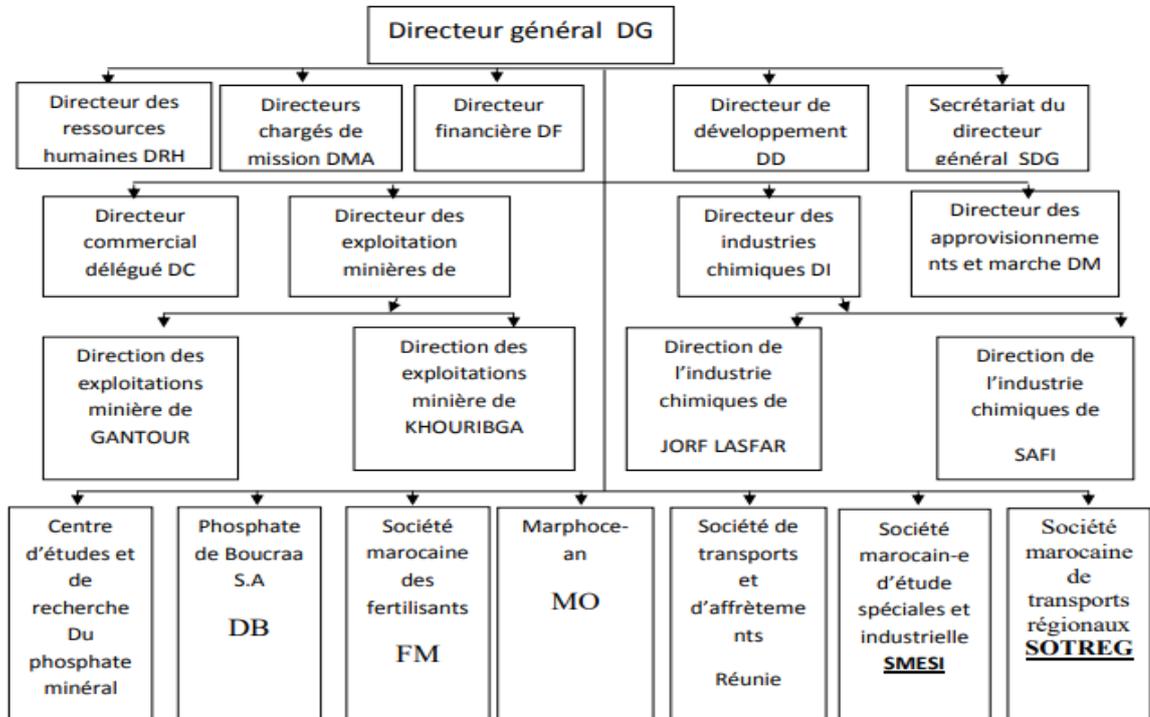


Figure 2:organigramme de group OCP-SA

III. Généralité sur le phosphate

1. Phosphate

Le phosphate se présente sous la forme d'une poudre blanchâtre, c'est le produit de la décomposition d'ossements de poissons (poisson osseux, raies, requins...) et les reptiles marins (Crocodiles et lézards), et autres qui se déposent au fond des mers. Cette décomposition, s'est réaliser pendant des millions d'années, bien avant que l'homme existe, certains continents actuels étaient recouverts par les mers en partie ou totalement. La mer en se retirant a laissé d'immenses cimetières de poissons dont les ossements, en se décomposant au cours des siècles ont formées le phosphate, ce dernier se compose essentiellement de deux parties, selon le rapport de description des entités, une partie noble constituée par les grains phosphatés appelés "otolithes" qui ont comme origine des débris des os qui se subdivisent en deux types fluor apatite et chlorapatite. L'autre partie est appelée stérile, qui appauvrisse le minerai, constituée par une couche argilo-calcaire qui entoure les grains phosphatés. Son gisement était en 4 couches superposées de richesses différentes à une profondeur de 6 à 12 mètres dont la plus importante varie de 2 à 6 mètres d'épaisseur [1].

Le phosphate existe sous forme de :

✚ Phosphate brut :

Après son extraction, le phosphate épierré est stocké avant d'être repris pour alimenter les usines de traitement. La teneur du phosphate brut est exprimée en pourcentage du contenu du pentoxyde de phosphate P_2O_5 ou donner en termes de phosphate tricalcique $Ca_3(PO_4)_2$ connu

sous le terme BPL, avec un taux de conversion de 2.1853 pour passer du pentoxyde du phosphate au BPL.

✚ Acide phosphorique :

Est obtenu par réaction de l'acide sulfurique avec le phosphate tricalcique. La teneur moyenne du produit intermédiaire ainsi obtenu après concentration est de 52 % de P_2O_5 . L'acide phosphorique purifié, est destiné à des applications alimentaires et industrielles.

✚ Engrais :

OCP produit quatre types d'engrais à partir de l'acide phosphorique : le DAP (qui est l'engrais le plus courant), le TSP (engrais exclusivement phosphaté), le MAP (engrais binaire à deux éléments fertilisants : phosphore et azote) et le NPK (engrais ternaire à base d'azote, de phosphore et de potassium) [1].

2. Usages des phosphates

Les phosphates sont utilisés dans nombreuses industries, comme celles des détergents. Ils entrent également dans la composition de nombreux produits, comme les peintures, et les engrais utilisés dans les industries agroalimentaires et de production des aliments de bétail. Ils sont également utilisés dans les industries de production des plastifiants et les additifs pour essence et des huiles lubrifiants et de traitement des métaux.

Le phosphate est utilisé principalement dans la fabrication des engrais : 85 % du phosphate extrait dans le monde sont destinés à la production des fertilisants, les autres 15 % sont dirigés vers les usages techniques (alimentation animale, détergence, traitement de surface, conservation des aliments, industrie pharmaceutique, etc....).

3. Gisement du phosphate au niveau internationale

Les gisements les plus importants se trouvent au Maroc, plus particulièrement à Khouribga, en Amérique du Nord, sur l'île de la Navasse, en Tunisie, au Togo, en Israël, en Jordanie, en Chine et sur certaines îles d'Océanie : Nauru, Banaba et Makatea.

4. Gisement du phosphate au Maroc

Il y a quatre gisements principaux au niveau nationale :

- Bassin des Oulad Abdoun : (Réserves mondiales) Il est le plus important, aussi bien par son extension que par la qualité et la quantité des minerais qu'il renferme. Le bassin s'étend sur une superficie de 4.000 Km environ. L'exploitation des phosphates se fait actuellement dans quatre mines à ciel ouvert : Sidi Daoui en cours d'épuisement, Marah El Arech, Sidi Chennane, et El Halassa.
- Bassin de Gantour : Ce bassin s'étend sur environ 120 Km d'est en ouest, et 20 à 30 Km du nord au sud. Les zones actuellement en exploitation sont les gisements de Benguerir et de Youssoufia.
- Bassin des Meskala : (Non exploité) : Situé dans la plaine d'Essaouira-Haouz, il est divisé en trois zones principales : Oulad Bousabaa, Imin Tanout et Khémis Meskala.
- Bassin Oued Eddahab : Ce bassin se situe en zone saharienne. Il occupe une vaste région, qui part de la zone de Dchéra au sud-ouest de Laayoune près de la confluence de Saquia El Hamra et Oued El khat [1].

**Deuxième partie : Aperçu sur le lieu
de stage**

I. Présentation de la laverie MEA

1. Introduction

Le projet de doublement de la production concerne particulièrement la ville de Khouribga. Cet objectif passe essentiellement par la construction de nouvelles laveries dont la fonction est d'enrichir le phosphate et le préparer pour le transport via le pipeline.

Le site de la laverie MEA est localisé à environ 25 km au Sud-Est de la ville de Khouribga, de part et d'autre de la route nationale RN11, en se dirigeant vers Fkih Ben Salah. Elle a commencé ses activités en 2010, et en 21 mars 2012 s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du projet industriel du groupe OCP et de sa stratégie ambitieuse conciliant expansion des activités industrielles, préservation des ressources en eau et respect de l'environnement, placés au cours des préoccupations du groupe marocain.



Figure 3:Laverie Merah

Le minerai qui sera traité dans les installations du projet est un phosphate sédimentaire, qui comporte des proportions en stériles allant jusqu'à 40%. Ces derniers sont constitués des blocs calcaires et de silice. Ces stériles seront éliminés au niveau des opérations d'épierrage et de criblage. La mise en service de la nouvelle laverie de Merah Lahrach (MEA) dans le cadre du programme du développement industriel d'OCP afin de produire du phosphate de moyenne teneur avec une capacité annuelle de 2.4 Millions de tonnes, ce qui a permis pour la première fois d'expédier à Jorf Lasfar un phosphate plus riche en BPL sur toute l'année 2010.

2. L'objectif

La laverie MERAH a entamé ses activités, dans le but d'enrichir les qualités de phosphate pauvres en provenance du site d'extraction de la zone centrale MEA et de fabriquer des qualités marchandes destinées à l'export et à l'exploitation nationale. L'enrichissement consiste à débarrasser le minerai de ses fractions granulométriques les plus pauvres, à savoir les grains supérieurs à 2500 μm et inférieurs à 40 μm . Cette valorisation se fait à l'aide des traitements spécifiques permettant d'élever sa teneur en BPL, et le préparer au transfert par Pipeline vers Jorf Lasfar.

3. Minerai à traiter

Le minerai de phosphate est caractérisé par sa teneur en BPL (Bon Phosphate of Line) qui signifie, phosphate des os (chaux) à base du calcium. Donc en fonction de sa teneur en BPL, le phosphate est classé en différentes qualités sources :

Tableau 2:Classification du phosphate selon sa teneur en BPL/ P2O5

Qualités sources	% BPL
Super Haute Teneur : SHT	BPL >75
Très Haute Teneur : THT	73 < BPL ≤ 75
Haute Teneur Normale : HTN	71.5 < BPL ≤ 73
Haute Teneur Moyenne : HTM	69.5 < BPL ≤ 71.5
Moyenne Teneur : MT	68 < BPL ≤ 69.5
Basse Teneur Riche : BTR	65 < BPL ≤ 68
Basse Teneur Normale : BTN	63 < BPL ≤ 65
Basse Teneur Pauvre : BTP	61 < BPL ≤ 63
Très Basse Teneur : TBT	56 < BPL ≤ 61
Podzolisé : PDZ	BPL < 56

Les qualités sources : SHT, THT, HTN, HTM et MT sont considérées comme des qualités marchandes sans enrichissement. Par contre les qualités sources : BT, TBT et PDZ doivent subir un enrichissement avant leur utilisation dans la fabrication des qualités marchandes.

En plus, d'après les analyses granulo-chimiques de GAUSS, le phosphate provenant à la laverie MEA est généralement constitué de trois tranches.

- **La tranche à particules grossières** « supérieure à 2.5mm pauvre en BPL » : C'est un mélange d'agglomérat à ciment calcaire et de gros grains de silice souvent libre, la teneur de cette tranche est de l'ordre de 50% en BPL.
- **La tranche à fines particules** « inférieure à 40µm très pauvre en BPL » : Relativement riche en CO₂ et SiO₂, ne renferme pratiquement que des argiles. La teneur de cette tranche est de l'ordre de 45% en BPL.
- **La tranche intermédiaire** est plus riche en BPL.

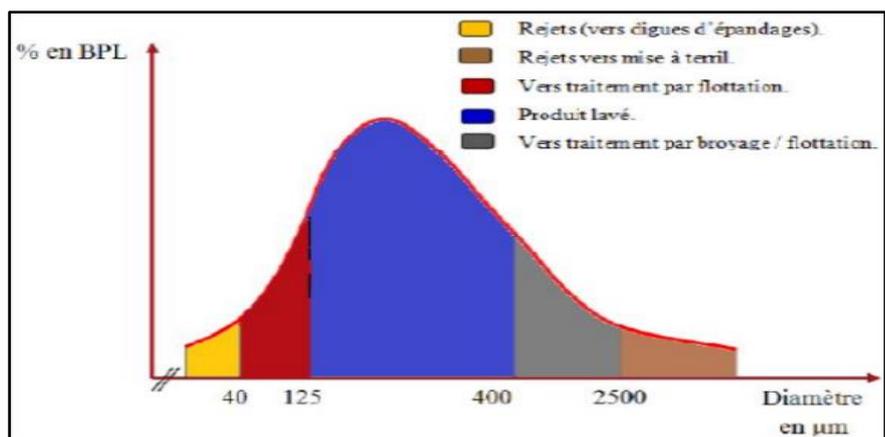


Figure 4: Courbe de GAUSS de la distribution granulométrique du phosphate

4. Les chaînes de production de la laverie

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

L'unité de lavage et de flottation MEA comporte six sections de production qui sont :

- Section de lavage
- Section de broyage
- Section de flottation
- Section d'adaptation
- Section de stockage des boues
- Section de récupération des eaux (Décanteurs).

Le tableau ci-dessous résume les capacités de quelques unités :

Tableau 3: Capacité des sections de laverie MEA

Section	Atelier	Capacité
Lavage	6 chaînes Une nouvelle chaîne (lavage + broyage + Décanteur)	350 tonnes/heure 700 tonnes/heure
Flottation	3 Ateliers	300 tonnes/heure
Broyage	2 Ateliers	240 tonnes/heure
Décanteur	3 décanteurs	54000 m ³
Adaptation	2 décanteurs + 4 ateliers de broyage	1588 tonnes/heure
Stockage	2	900000 tonnes

II. Description des procédés de la laverie MEA

1. Procédé de lavage

Le lavage est un traitement physique par voie humide qui consiste à déliter le produit brut par débouillage et à le débarrasser au maximum de ses impuretés par criblage et classification humide. Pour ce faire la laverie dispose de 7 lignes de lavage fonctionnant en parallèle de tel sorte que les 6 premières lignes réalisent une coupure de 125 μm au niveau des hydrocyclones et la 7^{ème} ligne qui est réservée pour la haute qualité, celle-ci fonctionne sous une coupure de 160 μm . Donc le but du lavage est d'augmenter la concentration en BPL du minerai en le débarrassant des deux tranches :

- Une coupure supérieure par criblage à la maille de 2,5 mm par voie humide.
- Une coupure inférieure à 40 μm par hydro-cyclonage constituant les boues de lavage qui seront épaissies par décantation.
- Un système d'hydro-classification assurant une coupure respectivement de 125 μm pour les 6 premières lignes de lavage et de 160 μm pour la ligne HG.

Les principaux éléments constituant le secteur de lavage :

✚ Alimentation en eau et en phosphate brut

L'alimentation en eau des lignes de traitement sera effectuée à partir d'un bassin de capacité 6000 m³, en béton armé destiné à recevoir :

- Les eaux d'appoints.
- Les eaux recyclées à partir du décanteur et des systèmes d'épandage prévus pour le stockage des boues appelées : digues

L'alimentation en phosphate brut : Le minerai transporté par le convoyeur du phosphate brut (tonnage de 350 t/h à 360 t/h) alimente les chaînes de lavage à travers leur trémie tampon respective. Chaque trémie de chaque chaîne alimente le convoyeur d'alimentation de chaque chaîne avec un débit de 360 t/h à l'intermédiaire d'un extracteur de la matière qui règle le débit d'alimentation avant sa prise en charge par le convoyeur d'alimentation. Ce dernier est muni d'une bascule composée d'une roue et d'une échelle pour mesurer le débit du produit brut transporté. En effet la roue mesure la vitesse du convoyeur et l'échelle mesure la masse du minerai.



Figure5: Système d'alimentation de chaque chaîne de lavage

✚ Mise en pulpe du phosphate brut

Le phosphate brut transporté par les bandes d'alimentations va suivre la suite de la chaîne de lavage qui est la mise en pulpe, cette opération est réalisée à l'aide d'un débouilleur qui exerce une action combinée de frottements de la matière entre eux et de mise en suspension du solide

dans l'eau, cette action se réalise par le frottement de la matière entre eux d'une part et d'autre part avec les parois toute au long de débourbeur. Le phosphate brut (avec un taux massique de 89% de solide) et l'eau de lavage sont alimentés par gravité en co-courant à l'intérieur du débourbeur qui tourne avec une vitesse de 6 à 8 tours/min pour que le produit soit sous forme de pulpe pour que le taux de solide soit de 41% à la sortie.



Figure 6:Le débourbeur

✚ Criblage

La pulpe ainsi traitée au niveau du débourbeur, passe au crible par débordement pour subir une classification mécanique en voie humide, il s'agit de faire passer le minerai sur une surface tamisant dont la coupure est de 2,5 mm, ceci permet d'éliminer les particules de dimensions supérieures à la coupure constituant le refus du crible tandis que les particules de dimensions inférieures à la maille passent à travers la grille constituant le passant. Le crible vibrant est installé de manière inclinée pour favoriser l'écoulement du produit. L'opération de criblage est facilitée à l'aide d'un système d'arrosage par l'eau sous pression, pulvérisée par des buses afin de libérer les grains phosphatés adhérents à la surface du stérile

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



Figure 7:Le crible

A ce stade nous profitons d'une classification préliminaire par dimension toute en éliminant le refus du crible comme rejet pauvre en BPL et par conséquent sera évacué vers la mise à terril.



Figure 8:L'alimentation de mise a terril

🚦 Classification humide

C'est un procédé de classification granulométrique humide de minerai de phosphate par la réalisation d'une coupure bien déterminée, cette coupure constitue un point de séparation entre la tranche granulométrique riche et celle pauvre en BPL. L'hydrocyclone est alimenté avec une pulpe minérale constituée de minerai broyé et d'eau. La pulpe est pompée sous pression et introduite tangentielle dans la chambre d'alimentation située au sommet de la partie cylindrique. L'injection tangentielle donne à la pulpe un mouvement hélicoïdal et génère un vortex autour de l'axe verticale de l'hydrocyclone. Le principe est montré à la *Figure 10*.

Une colonne d'air se développe le long de l'axe vertical résultant de l'air aspiré par la pulpe descendante et l'air de l'extérieur via la décharge à la sousverse. Les particules sont soumises à deux forces opposées dont une force d'entraînement et une force centrifuge. La force d'entraînement est orientée vers le centre et dirige l'eau et les particules fines vers la colonne d'air où elles sont évacuées vers la surverse. La force centrifuge entraîne les particules grossières, qui subissent en même temps l'effet de la gravité vers la paroi pour les décharger à la sousverse. L'hydro classificateur doit assurer une coupure réglable de 125 μm selon la qualité du minerai traité ou selon la teneur demandée par le client pour donner naissance à deux flux :

- Une surverse de granulométrie inférieure à 125 μm destinée à subir un enrichissement par flottation.

- Une sousverse de granulométrie supérieure à 125µm destinée à être épaissie par hydro cyclonage pour constituer le concentré de lavage.

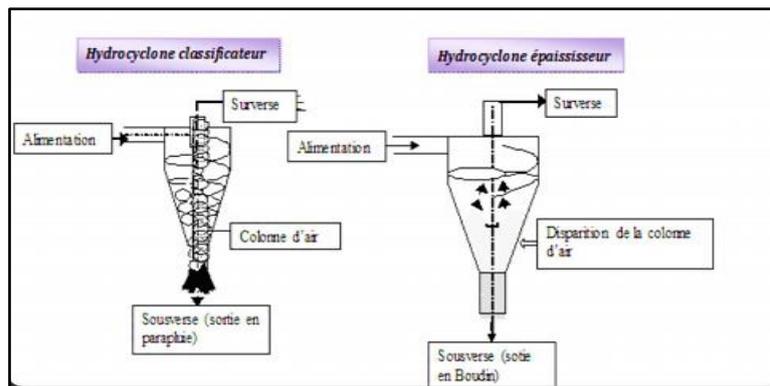


Figure9 :Allure générale de l'écoulement de la pulpe dans un hydrocyclone

Il est à noter qu'il existe deux sortes de cyclone :

- **Hydro-cyclone classificateur** : Le cyclone agit alors comme classificateur, il donne deux fractions granulométriques selon les dimensions des particules.
- **Hydro-cyclone épaisseur** : il joue le rôle d'un appareil de séparation solide liquide permettant d'atteindre une concentration solide plus élevée par rapport à l'entrée sans réaliser une classification granulométrique.

✚ L'égouttage

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

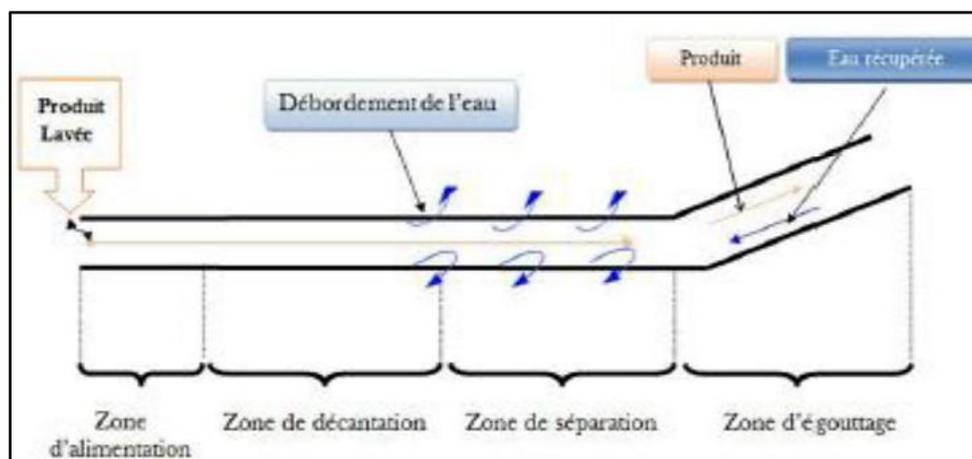


Figure10 :Schéma d'un convoyeur séparateur



Figure 11:convoyeur séparateur solide-liquide

2. Description du procédé de broyage

L'unité de broyage MEA comporte deux ateliers de broyage identiques, chaque atelier dispose de deux broyeurs à boulets dont la capacité nominale de chaque broyeur est de 120 t/h (tonnage solide) soit un tonnage humide de 480 t/h. La pulpe de phosphate issue de la sousverse de la batterie d'hydro-cyclones BH1 avec une d_{80} supérieur à 125 μm passe par une classification au niveau des hydro-classificateurs HD1 à 400 μm afin de récupérer la tranche de phosphate riche en BPL.

La sousverse de HD1 qui a une granulométrie comprise entre 400 μm et 2500 μm alimenter la section de broyage avec un taux de solide de 68% afin de libérer plus d'avantage le minérale utile et de préparer une granulométrie adéquate à l'étape de flottation.

Le produit obtenu après broyage va subir une classification à l'aide des hydrocyclones dont la coupure est de 125 μm , les inférieurs à 125 μm et supérieurs à 40 μm vont rejoindre la section de la flottation, alors que les supérieurs à 125 μm vont retourner au broyage comme charge circulante.

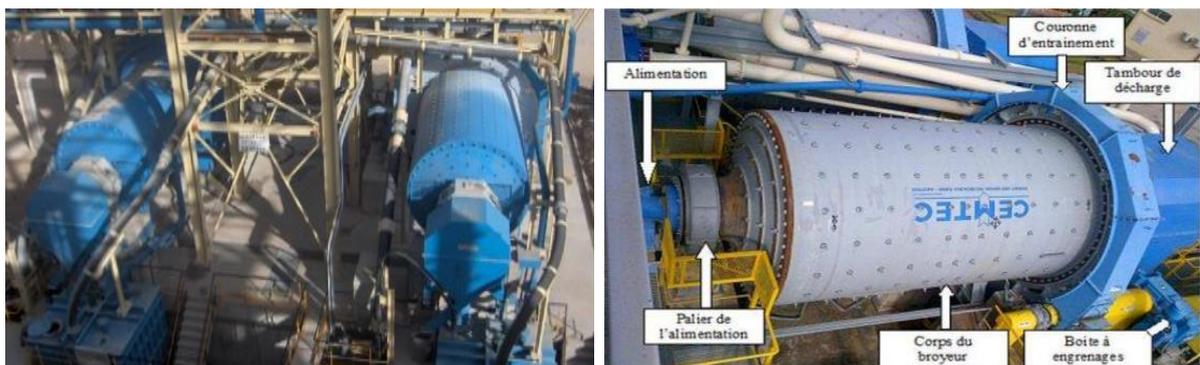


Figure 12 :Broyeur

3. Procédé de traitement des phosphates dans la section flottation

L'enrichissement du minerai de phosphate par flottation, est un traitement physico-chimique par voie humide basé sur les propriétés de la chimie des surfaces, dont le but est de récupérer en majeure partie le minerai utile. Elle consiste à déprimer le minerai de valeur et à flotter les minerais indésirables par l'addition des réactifs. En effet, pour augmenter sa teneur du minerai en BPL, le produit passe successivement par deux phases de traitement :

- L'attrition et le déshlammage qui consistent à générer et éliminer les fines (granulométrie inférieure à 40µm).
- Le conditionnement et la flottation où sont injectés des réactifs, à savoir l'acide phosphorique qui est considéré comme un déprimant des grains du phosphate, l'ESTER qui collecte les carbonates et l'AMINE qui collecte le silicate afin de flotter les fines pauvres en BPL (carbonate et silicate) et déprimer les phosphates.

➤ Le principe de flottation

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

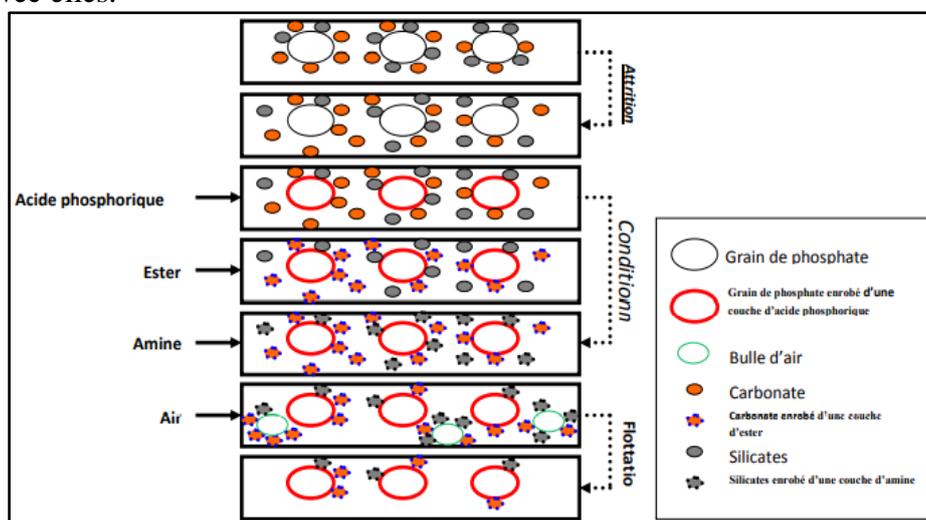


Figure 13 :Principe de flottation

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

4. Section de la décantation

Le traitement du minerai du phosphate par lavage et flottation consomme une grande quantité en eau. Il est nécessaire donc de donner l'importance plus en plus au recyclage des eaux comme ressources intéressantes. Les grains inférieurs à 40µm issues de la batterie sont envoyés vers trois bassins appelés décanteurs qui servent à récupérer le maximum d'eau claire séparée des fines particules. Cette récupération se base sur le phénomène de décantation, on distingue deux types de décantation : Naturelle et artificielle. La décantation naturelle se fait sans l'ajout des produits accélérant la décantation ce qui demande un temps long, par contre la décantation artificielle a pour but d'augmenter la vitesse de décantation en ajoutant un flocculant.

La laverie est équipée de trois décanteurs, ce sont des bassins circulaires à fond conique, au centre un dôme qui reçoit la pulpe argileuse de la conduite issue de la surverse de la batterie qui permettent de traiter les boues en provenance des lignes de lavage des ateliers de broyage et des unités de la flottation, la décantation est forcée en ajoutant un flocculant, L'eau surnageant est recyclée est réutilisée à nouveau dans le procédé. Les boues sont soutirées par gravité (ou par pompage) alimentant le bassin 500 qui dirige la boue vers les digues d'épandage.



Figure 14 :Les décanteurs

5. Procédé de traitement des phosphates dans la section d'adaptation

L'atelier adaptation à une capacité de 920T/h, il permet d'adapter le produit lavé aux conditions de pompage exigées par le nouveau mode de transport (PIPE LINE). Le procédé d'adaptation est divisé en trois étapes :

➤ Etape 1 : Réception des produits

La réception des produits est faite au niveau du Tank TK003. Les produits issus de la sortie flottation 1 et 2 et de la sortie broyeurs laverie ayant une granulométrie respectivement de [40-125 μ m] et [40-160 μ m] alimentent le tank TK003 pour être acheminer vers l'étape décantation.

➤ Étape 2 : Broyage

Étape nécessaire pour diminuer la granulométrie des particules de phosphate avant pompage de la pulpe vers JORF à travers Pipeline.

- Broyage primaire : permet de réduire la taille du concentré lavé issu des chaînes de lavage avec une granulométrie entre 125 et 400 μ m. À l'aide d'une batterie de 8 hydro-cyclones la pulpe broyée subit une coupure à 160 μ m, les inférieures à cette taille alimente le tank TK003 alors que les supérieures sont recyclées vers le broyeur primaire.
- Broyage secondaire : assure la génération des fines. A l'aide d'une batterie de 7 hydro-cyclones les inférieures à 40 μ m sont envoyées vers l'étape décantation et les supérieurs à 40 μ m sont recyclés aux broyeurs secondaires.

➤ Étape 3 : Décantations

Permet de récupérer l'eau de procédé et concentrer la pulpe selon les spécifications de la station de pompage vers l'usine JORF. La pulpe broyée est mise en contact avec un flocculant puis dirigée vers un décanteur, le flocculant permet de créer des agglomérats et d'accélérer la décantation des solides. La pulpe récupérée de la sousverse du décanteur est envoyée au tank TK001 du pipeline alors que l'eau clarifiée en surverse est récupérée et réintroduite dans le procédé.

6. Manutention et Stockage

- Après l'égouttage, le produit fini stocké a une grande surface de capacité de 800 000 t par des convoyeurs de phosphate.
- Après l'opération de l'adaptation, le produit va stocker en 2 décanteurs afin de bien maîtriser la concentration solide du produit.

7. Description de la ligne HG (7eme ligne)

La laverie MEA évolue dans la production de produit à haute qualité par l'insertion d'une 7eme ligne de lavage appelé la ligne HG spécialisée dans la production d'une gamme de phosphate riche en BPL.

La 7ème chaine de lavage est une nouvelle chaine, elle contient une unité de lavage et d'adaptation (broyage +Décanteur), elle suit le même principe des autres chaines sauf qu'elle réalise une coupure de 160 μm à la place 125 μm . Après la réception de la matière brute par les convoyeurs d'alimentation, il se stocke dans une trémie qui permet de faire passer le produit vers le débourbeur pour le malaxer en y ajoutant de l'eau, à la sortie du débourbeur le produit malaxé passe par un crible qui fait une coupure de 2500 μm , les grains supérieurs à 2500 μm est acheminés par un convoyeur vers stérile, alors que le passant du crible suit plusieurs traitements (classifications, broyage et flottation) qui donne finalement deux tranches ,une qui se stocke dans décanteur à boue ($d_{80} < 40 \mu\text{m}$),et l'autre dans décanteur produit($40 < d_{80} < 160$),ce dernier est transporter par les pipeline vers El JORF LASFER.

**Troisième partie : Généralité sur la
maîtrise statistique des procédés**

I. M.S.P et qualité

L'implantation de la MSP, correspond à une triple volonté du management de qualité

- 1- Mobiliser les ressources humaines par l'emploi d'un outil qui fait appel à la rigueur scientifique et au travail participatif.
- 2- Garantir la qualité des produits et des services par la maîtrise des processus.
- 3- Optimiser simultanément les conditions de fabrication des produits (productivité, rendement, régularité) et leurs propriétés d'usage [3].

1. Définition d'un processus

Dans l'expression MSP, le mot « processus » désigne : ensemble des moyens et d'activités liés qui transforment des éléments entrants en éléments sortants [4].

2. Définition de M.S.P

La MSP : Maîtrise Statistique des Procédés "Statistical Process Control (SPC)", C'est une démarche qui vise à maîtriser le processus en ayant recours aux tests et contrôles des procédés en passant par des enregistrements relatifs à la qualité. Le but de la MSP est :

- Optimiser un processus de production
- Evaluer des passages incontournables pour aller vers la certification des entreprises et la réponse à un marché de plus en plus difficile
- Prévention des défauts par l'application des outils statistiques [4].

3. Objectifs et Intérêt

L'intérêt de cette pratique est de permettre à l'entreprise d'être capable d'utiliser des outils statistiques pour piloter et contrôler le maintien dans les limites fixées par les spécifications, des dispersions d'une machine ou d'un procédé. Elle a pour but :

- De maîtriser l'ensemble des facteurs composant un procédé de fabrication pour en améliorer la performance globale ;
- D'améliorer la qualité du produit par la suppression de toutes les causes assignables puis par la réduction des causes aléatoires ;
- De s'assurer que la qualité du produit est conforme aux spécifications techniques et que cette qualité est reproductible dans le temps [5].

4. Les avantages de la méthode maîtrise statistique des procédés

L'utilisation de cette méthode Maitrise Statistique des procédés permet :

- Anticiper les problèmes.
- Réagir rapidement en cas d'apparition d'anomalies avant que celles-ci n'empirent.
- Éviter le sous ou le sur contrôle, uniquement réagir quand il le faut.
- Améliorer la production et la productivité :
- Par la constance des caractéristiques de produit.
- Par la diminution des coûts (moins de rebuts, moins de retouches et rationalisation des plans de contrôle.[5]

5. Principe

Comme on vient de le préciser, la Maitrise Statistique des Procédés apporte une grande efficacité dans l'amélioration de la qualité des produits au sein du système de production. Cette pratique est fondée, essentiellement, sur deux approches fondamentales :

- La mesure des capacités ;
- Le suivi et le pilotage des procédés industriels en faisant appel aux cartes de contrôle.

6. Franchir les 4 étapes clés de la méthode

La démarche pour appliquer la MSP selon Maurice Pillet dans son ouvrage appliquer la maitrise statistique des procédés, se décompose suivant les étapes suivantes :

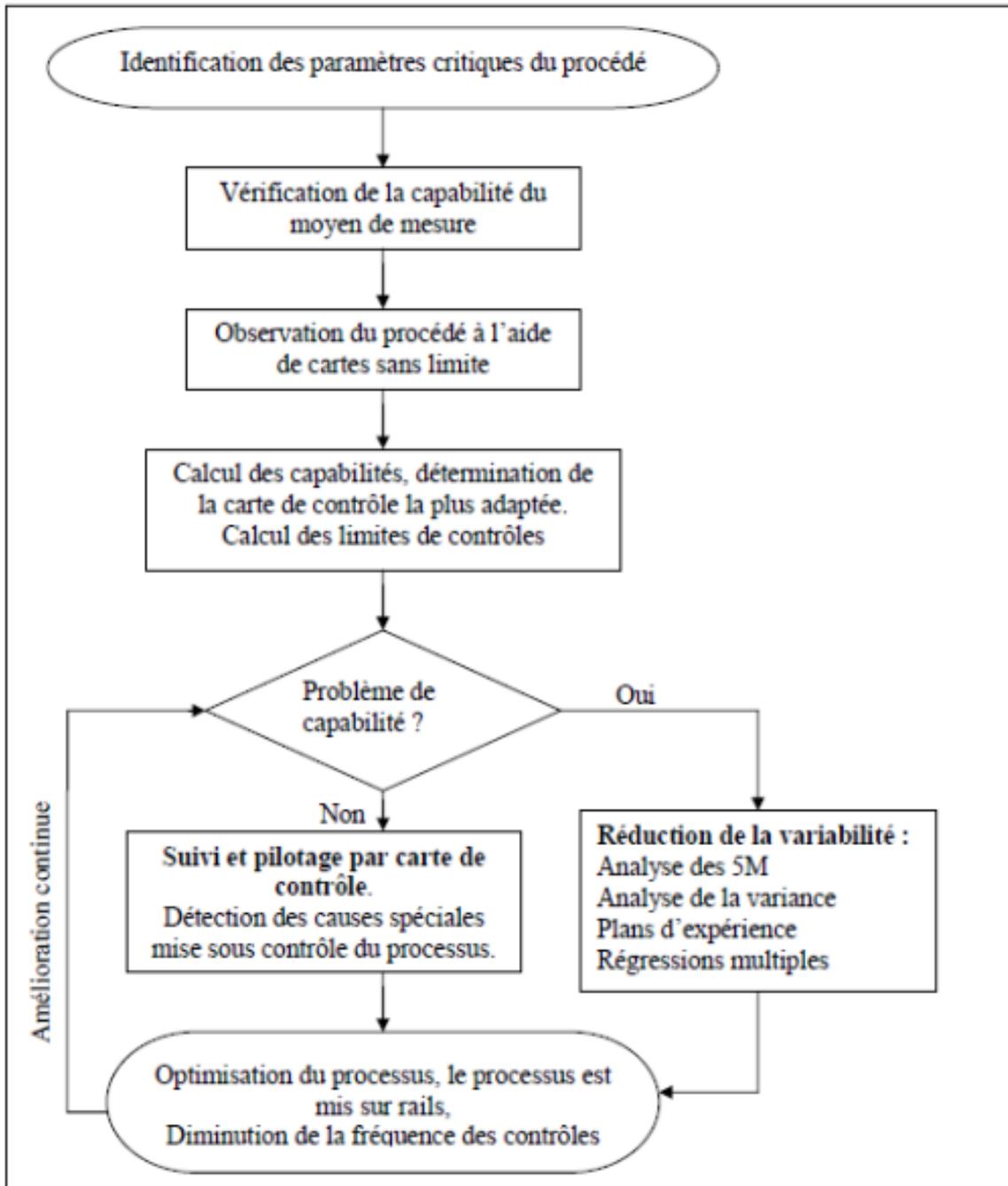


Figure 15:Démarche théorique pour appliquer la MSP

II. Origine de la variabilité

Elle provient des 5M et de leurs combinaisons, une par cinq, deux par cinq ...et cinq par cinq, ces influences combinées pour tout le procédé sont appelées variations [2].

1. Causes de variations

Elle se classent en deux grandes catégories :

a) Causes communes :

Représentent la variabilité imputable au hasard. Si elles sont indépendantes les unes des autres et d'un ordre de grandeur équivalent, alors il est prévisible que la fonction de répartition suivra la loi normale

b) Causes spéciales :

Représentent les causes de variabilité importantes qu'il faut corriger.

Si seules les causes communes agissent sur le processus alors l'équipement est sous contrôle. Mais si des causes spéciales apparaissent, une réaction est nécessaire. Les cartes de contrôle sont des outils élaborés pour détecter les causes spéciales [2].

D'où l'objectif primo :

- ✓ Se débarrasser d'abord et définitivement de toutes les causes spéciales.
- ✓ Ensuite réduire les causes communes.

III. Loi normale

1. Définition

Les lois normales ont une grande importance en statistiques. La courbe représentative de leur fonction de densité est appelée courbe de Gauss ou courbe en cloche du fait de sa forme.

Une variable aléatoire quantitative est dite « normale » si ses variations résultent de causes :

- Nombreuses
- Indépendantes
- Aucune prépondérante par rapport à l'ensemble
- Additives

Cette loi va nous permettre de détecter une anomalie [1].

2. Droite de Henry

La droite de Henry permet d'évaluer la normalité de la distribution d'une variable, c'est-à-dire si la variable suit la distribution normale et dans quelle mesure. La variable sélectionnée est représentée par un nuage de points mettant en relation les valeurs observées et les valeurs "théoriques de la distribution normale".

- Si les résidus observés (tracés selon l'axe X) sont distribués normalement, toutes les valeurs doivent être alignées sur une droite.
- Si les résidus ne sont pas distribués normalement, ils s'écarteront plus ou moins de la droite [2].

IV. Capabilité d'un procédé

1. Notion de capabilité

Bien souvent les industriels parlent de la qualité de leur produit de façon bien trop subjective et approximative. Une démarche d'amélioration de qualité exige une grande précision, qui nécessite la comparaison de données chiffrées à des valeurs définies comme limites.

Les capabilités (aptitudes en Français) ont été créées pour caractériser de façon numérique toute production. La capabilité se mesure par le rapport entre la performance demandée et la performance réelle d'un procédé. Elle permet de mesurer la capacité d'une machine ou d'un procédé à réaliser des pièces dans l'intervalle de tolérance fixé par le cahier des charges. Une capabilité s'exprime par un chiffre. Il existe différents types de capabilité :

1.1 Capabilité procédée

Elle permet de savoir si un procédé est capable ou non, c'est-à-dire s'il ne produit pas de pièce hors tolérance ou s'il entraîne des pertes. Pour cela on compare l'intervalle de tolérance à la performance du procédé en calculant le C_p (capabilité intrinsèque du procédé). La dispersion utilisée pour le calcul de la capabilité C_p est la dispersion globale. La capabilité procédée traduit la capabilité à fabriquer des pièces sur le long terme, la dispersion globale tient compte de l'ensemble des influences qui peuvent perturber le procédé pendant le temps de production. Cette dispersion est constituée des dispersions à court-terme (dispersions dues à la machine) plus des dispersions consécutives aux variations de consignes (déréglage) incontournables sur le long terme [4].

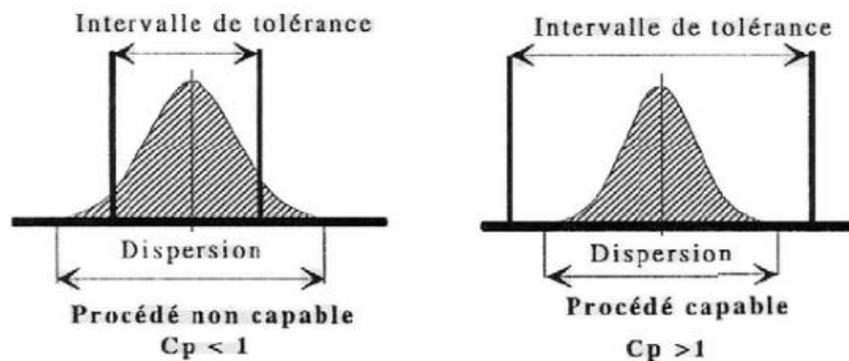


Figure16 :Indicateur de Capabilité Cp

Mais les mesures peuvent subir un décentrage par rapport aux valeurs attendues, le C_{pk} (capabilité centrée du procédé) permet de le quantifier.

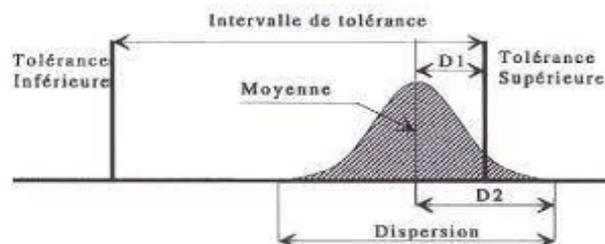


Figure 17:Procédé dérégulé du coté supérieur à la moyenne, nécessité d'un indicateur Cpk

Le Cp et le Cpk permettent donc de caractériser la capacité de procédé.

1.2 Capacité machine

Cette capacité représente la valeur optimale qu'elle peut obtenir sur une machine donnée. Elle permet donc de savoir ce que l'entreprise peut espérer d'obtenir de mieux avec les outils dont elle dispose. Pour cela elle dispose de deux indicateurs le Cm (capacité intrinsèque) et Cmk (capacité centrée machine).

Si on peut éliminer les influences des 4 M non Machine, et ne laisser subsister que les dispersions aléatoires dues à la machine, on trouve alors une capacité qui apparaît comme étant le maximum de ce que l'on peut obtenir sur une machine donnée [4].

2. Les indices de capacité Cp et Cpk :

La capacité Cp d'un procédé se calcule avec la dispersion de production :

$$Cp = \frac{IT}{DP} = \frac{IT}{6\sigma}$$

Avec :

IT : intervalle de tolérance

$$IT = Ts - Ti$$

Ts : tolérance supérieure.

Ti : tolérance inférieure.

DP : Dispersion de production.

σ : Ecart type de production.

La capacité Cp ne permet pas de vérifier si la dispersion est centrée par rapport à l'intervalle de tolérance ou si la tolérance est dissymétrique. Pour cela il faut calculer le Cpk :

$$Cpk = \min \left[\frac{Ts - X}{3\sigma}, \frac{X - Ti}{3\sigma} \right]$$

✚ Décision :

- Si Cp et Cpk > 1,33 alors le procédé est capable.
- Si Cp et Cpk < 1,33, alors le procédé n'est pas capable [4].

V. Carte de contrôle

Afin de faire la différence entre les causes communes et les causes spéciales de variation, Shewhart a développé un outil statistique relativement simple : La carte de contrôle.

Chaque carte de contrôle est spécifique d'un indicateur et permet son suivi dans le temps afin de donner un signal d'alarme si des évolutions significatives (causes spéciales) ont lieu. La présence ou l'absence de ces dernières va permettre d'identifier le comportement de l'indicateur suivi (prédictible ou non) et d'apporter des actions correctives, si possible, avant la production de données non conformes aux spécifications [2].

1. Définition

La carte de contrôle l'un des outils de base utilisé pour la maîtrise statistique des procédés. C'est une présentation graphique qui est suite d'image de la production. Elle permet de visualiser la variabilité du procédé en distinguant les causes de variabilité aléatoires (ou normales, au sens statistique du terme) des causes assignables. Son utilisation permet entre autres de dire si le procédé est sous contrôle (variabilité due uniquement à des causes aléatoires),

et donc de prévoir sa performance, ou si le procédé est hors contrôle (présences de causes assignables) [2].

2. Etapes de mise en place d'une carte de contrôle

La mise en place d'une carte de contrôle doit se faire en respectant ces différents points :

- Choix des caractéristiques à suivre.
- Choix du type de contrôle (par mesures ou par attributs).
- Choix du type de carte (en fonction de la rapidité du dérèglement).
- Choix de l'échantillonnage (détermination de l'effectif et de la fréquence d'échantillonnage).
- Étude préliminaire du processus (détermination des paramètres de la caractéristique suivie) Etablissement des règles de décision.
- Amélioration continue (améliorer la capacité du procédé [2]).

3. Les étapes de réalisation de la carte de contrôle par mesure

- 1) Collecter les échantillons et porter les valeurs sur la carte.
- 2) Calculer la moyenne \bar{X} et l'étendue R de chaque échantillon :

- Calculer la moyenne de chaque échantillon :

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

- Calculer l'étendue R de chaque échantillon :

$$R = X_{max} - X_{min}$$

- 3) Calculer la moyenne des moyennes

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_K}{K}$$

- 4) Calculer la moyenne des étendues R

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_K}{k}$$

- 5) Calculer les limites de contrôle de l'étendue R :

- Limite supérieure de contrôle : $LSC(R) = D_4 * \bar{R}$
- Limite inférieure de contrôle : $LIC(R) = D_3 * \bar{R}$

Où les valeurs de D3 et D4 sont prises du tableau.

- 6) Calculer les limites de contrôle des moyennes :

- Limite supérieure de contrôle : $LSC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$
- Limite inférieure de contrôle : $LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$

Où la valeur A2 est prise du tableau.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A2	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31
D3	0	0	0	0	0	0,07	0,14	0,18	0,22
D4	3,27	2,57	2,28	2,11	2	1,92	1,86	1,82	1,78
d2	1,13	1,69	2,06	2,37	2,53	2,7	2,85	2,97	3,08

Figure 5: les coefficients pour calculer les limites d'une carte de contrôle

4. Lire et interpréter une carte de contrôle

L'objectif d'une carte de contrôle est de déterminer, sur la base des évolutions des points, quels sont les changements survenus dans le procédé de fabrication. Par conséquent, pour une utilisation efficace de la carte de contrôle, nous devons définir des critères d'évaluation qui permettent de définir ce qui est normal et ce qui ne l'est pas. Quand un processus de production est maîtrisé, cela signifie que :

- Tous les points se situent dans les limites de contrôle.
- Aucune suite de points n'a de forme particulière.

Nous savons alors qu'il existe une anomalie ou un manque de maîtrise du procédé si :

- Certains points sont en dehors des limites de contrôle (y compris les points sur les lignes de limite).
- Il existe des formes particulières de suite de points, même si elles sont toutes dans les limites de contrôle [3].

N.B

✚ Point hors contrôle :

Le point hors contrôle est : tout point qui se situe en dehors des limites de contrôle.

✚ Périodicité :

Si les points montrent une même suite répétitive (par exemple, augmenter puis diminuer) sur des intervalles égaux, la courbe présente une périodicité. Il n'existe aucune méthode simple pour détecter et évaluer une périodicité, mais c'est le signe d'un problème procédé.

VI. Analyse de cause-effet (5M ou diagramme d'Ishikawa) :

Une analyse de cause-effet génère et trie des idées ou des hypothèses concernant des causes possibles de problèmes à l'intérieur d'un processus. Elle agence des éléments de manière schématique à l'aide d'un diagramme d'Ishikawa.

Ce diagramme représente de façon graphique les causes aboutissant à un effet. Il peut être utilisé comme outil de modération d'un remue-méninge et comme outil de visualisation synthétique et de communication des causes identifiées. Il peut être utilisé dans le cadre de recherche de cause d'un problème ou d'identification et gestion des risques lors de la mise en place d'un projet. Ce diagramme se structure habituellement autour du concept des 5 M :

- Matière : les matières et matériaux utilisés et entrant en jeu, et plus généralement les entrées du processus.
- Matériel : l'équipement, les machines, le matériel informatique, les logiciels et les technologies.
- Méthode : le mode opératoire, la logique du processus et la recherche et développement.
- Main-d'œuvre : les interventions humaines.
- Milieu : l'environnement, le positionnement, le contexte [4].

Quatrième partie : Traitement de sujet et présentation de résultats

I. Introduction

La ligne HG est un procédé à haute qualité de traitement de phosphate exigeant un contrôle d'une multitude de paramètres, qui interagissent les uns sur les autres. Ce contrôle dépend de la nature du paramètre à suivre. Dans notre cas il s'agit de la teneur en BPL.

Nous nous proposons donc de réaliser un suivi de la teneur en BPL au niveau des carreaux pour les deux zones EST et OUEST, à l'entrée de la ligne HG, et à la sortie de la ligne HG aux laveries MEA à l'OCP Khouribga en faisant appel aux outils de la M.S.P.

II. Position de sujet

La teneur en BPL du phosphate à la sortie de laverie MEA est instable, provient d'une variabilité journalière. En effet la teneur en BPL du concentré final n'atteint pas la fourchette fixée dans les objectifs désirés par l'entreprise. Etant donné, dans notre cas, la ligne HG ou le phosphate subit plusieurs opérations de broyage, de classification hydraulique et de dépression qui peuvent avoir une influence négative sur sa flottabilité suite à la complexité de ces paramètres. La variation de la composition de la matière première ainsi la fréquence d'échantillonnage et les points à échantillonner font partie des résultats de traçabilité relevés dans le procédé chaque jour.

Afin d'améliorer la performance qualité de la ligne HG, un cahier de charge nous a été confié pour effectuer les tâches suivantes :

- Suivi et contrôle de qualité au niveau des carreaux et de l'entrée de la laverie
- Suivi et amélioration de performance qualité de la ligne HG

III. Enonce du plan

D'après l'étude bibliographique sur la MSP et le suivi de la teneur en BPL à la laverie MEA, nous avons réalisé un suivi journalier de 3 prélèvements à l'entrée de la laverie MEA (carreaux EST et OUEST), à l'entrée de la ligne HG et la sortie de la ligne HG durant le mois 5.

Nous allons étudier l'évolution de la teneur en BPL en fonction du temps ainsi par les cartes de contrôles. Pour cela, nous nous servons du logiciel MINITAB afin d'étudier la normalité de la distribution de données et de tracer les cartes de contrôles ainsi de déterminer la capabilité de procédé.

IV. Le paramètre critique

La teneur de phosphates s'exprime habituellement en pourcentage de P_2O_5 ou de son équivalent en $Ca_3(PO_4)_2$ que l'on désigne par les sigles B.P.L. (*bone phosphate of lime*) ou T.P.L. (*triphosphate of lime*).

La teneur de BPL à l'entrée laverie MEA est généralement de l'ordre de 50% en BPL, tandis qu'à la sortie de la ligne HG est généralement de l'ordre de 62% en BPL.

V. Les points de contrôles

Le processus de fabrication des produits à base de phosphate passe par plusieurs étapes (extraction, criblage, tamisage, lavage, séchage, traitement chimique). Pour respecter les exigences liées au produit final, un contrôle de qualité doit se faire tout au long de la chaîne de production. Le contrôle de la qualité du phosphate brut est souvent lié à la qualité de sa composition chimique. Ainsi, la première étape dans le contrôle de la qualité consiste à prélever d'une façon représentative des échantillons à analyser dans des laboratoires hors du circuit de production.

Cette étape est considérée comme une étape primordiale et indispensable pour déterminer les propriétés et valeurs marchandes du phosphate. La prise d'échantillons a pour objectif de sonder un certain nombre d'éléments prélevés. Ces échantillons sont nécessaires pour garantir la qualité du produit et la fiabilité des résultats. Il est donc éminemment important de réaliser une prise d'échantillon significative. Ce n'est qu'avec des échantillons représentatifs qu'il est possible d'établir la qualité ou la composition d'un matériau précis. En effet, un échantillon est représentatif quand il est issu d'une procédure d'échantillonnage standardisée. Ainsi, un système d'échantillonnage doit assurer que tous les éléments constitutifs du produit ont la même probabilité d'être échantillonnés. Durant le processus de traitement du minerai de phosphate, le prélèvement d'échantillon se fait à plusieurs endroits. À titre d'exemple, on trouve des préleveurs installés entre le processus de triage de minerai et les parcs d'homogénéisation. Le prélèvement s'effectue à chaque 20 min et l'échantillonnage concerne le phosphate humide criblé par couche et par poste.

Les points d'échantillonnage qui nous intéressent sont les suivantes :

- Dans les carreaux EST et OUEST après l'extraction de minerai
- Entrée de la ligne HG au niveau de l'étape de classification hydraulique
- Sortie de la ligne HG

VI. Le choix de carte de contrôle

Afin d'exploiter les données mesurées durant le mois 5, la carte de contrôle doit contenir : la situation du procédé, la dispersion du procédé, la chronologie des prélèvements, les causes spéciales, les actions correctives, la fréquence d'échantillonnage et la taille des échantillons.

La teneur en BPL est un caractère quantitatif nécessitant une carte de contrôle aux mesures qui permette le suivi de la tendance de production (les moyennes) et le suivi de la variabilité du procédé (les étendues). A ce stade nous pouvons donc dire que la carte de contrôle concerner par les caractéristiques mesurables citons ci-dessus est celle de la Moyenne – Étendue.

VII. Suivi et contrôle de qualité au niveau des carreaux, l'entrée de la ligne HG et à la sortie de la ligne HG

L'objectif de cette partie est de bien maîtriser la ligne HG tout en déterminant le domaine de variation des paramètres opératoires (Teneur en BPL) à l'aide des cartes de contrôle aux mesures, ce suivi a été réalisé durant le mois 5 sur les trois points de contrôle cités précédemment.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des cartes de contrôles des mesures relevées durant cette période de suivi.

Tableau 4: résultats de suivi durant le mois 5

Point de contrôle	Normalité	Carte de contrôle X bar R	Capabilité
Les carreaux (EST)	<p>Nous obtenons un graphique nuage de points, la droite de référence est matérialisée par la diagonale principale (Annexe). Nous constatons que les points sont relativement alignés. Nous n'observons pas un écartement significatif, aucun point ne semble non plus se démarquer des autres. Nous pouvons donc dire que la distribution des différents points de contrôle est normale.</p>	❖ Carte X : LSC = 55,967 \bar{X} = 53,842 LIC = 51,716 ❖ Carte R : LSC = 5,348 LIC = 0	Cp = 0,46 Cpk = -0,26 EcTyp=1,461
Les carreaux (OUEST)		❖ Carte X : LSC =56,800 \bar{X} = 53,330 LIC =49,860 ❖ Carte R : LSC = 8,733 LIC = 0	Cp = 0,32 Cpk = -0,26 EcTyp= 2,105
L'entrée HG		❖ Carte X : LSC = 57,787 \bar{X} =54,453 LIC = 51,118 ❖ Carte R : LSC = 8,391 LIC = 0	Cp = 0,32 Cpk =-0,09 EcTyp= 2,063
La sortie HG		❖ Carte X : LSC =64,947 \bar{X} =63,413 LIC = 61,880 ❖ Carte R : LSC = 3,858 LIC = 0	Cp =0,31 Cpk =-0.49 EcTyp= 1,089

VIII. Exemple prototype d'étude de cas

Nous proposons d'étudier l'exemple des carreaux (Zone de EST), afin d'exploiter les données de tableau mentionné ci-dessus

❖ *Données de suivi*

Tableau 5: les données pour le BPL de l'échantillon EST

Date	X1	X2	X3
01/05/2021	56,34	56,16	55,69
02/05/2021	56,07	50,72	50,76
03/05/2021	55,47	53,64	56,8
04/05/2021	56,96	57,86	60,86
05/05/2021	51,59	50,51	55,38
06/05/2021	55,88	57,32	58,44
07/05/2021	55,08	54,52	55,01
08/05/2021	51,17	51,51	52,82
09/05/2021	54,29	51,26	48
10/05/2021	50,16	52,85	56,24
11/05/2021	55,33	55,09	57,35
12/05/2021	58,95	57,25	58,09
13/05/2021	55,94	54,53	54,48
14/05/2021	54,09	52,19	52,81
15/05/2021	51,36	52,3	52,92
16/05/2021	54,16	54,16	54,16
17/05/2021	53,51	53,25	53,54
18/05/2021	57,8	57,8	57,8
19/05/2021	53,51	53,25	53,54
20/05/2021	52,55	52,95	54,09
21/05/2021	53,83	48,42	52,88
22/05/2021	53,67	51,96	53,34
23/05/2021	54,67	54,83	54,98
24/05/2021	53,64	55,47	52,41
25/05/2021	51,19	49,58	51,82
26/05/2021	52,99	52,8	52,89
27/05/2021	55,65	52,49	53,4
28/05/2021	50,21	50,01	50,11
29/05/2021	52,52	53,73	53
30/05/2021	52,99	52,5	52,75
31/05/2021	52,8	52,65	53

❖ *Etude de normalité de distribution*

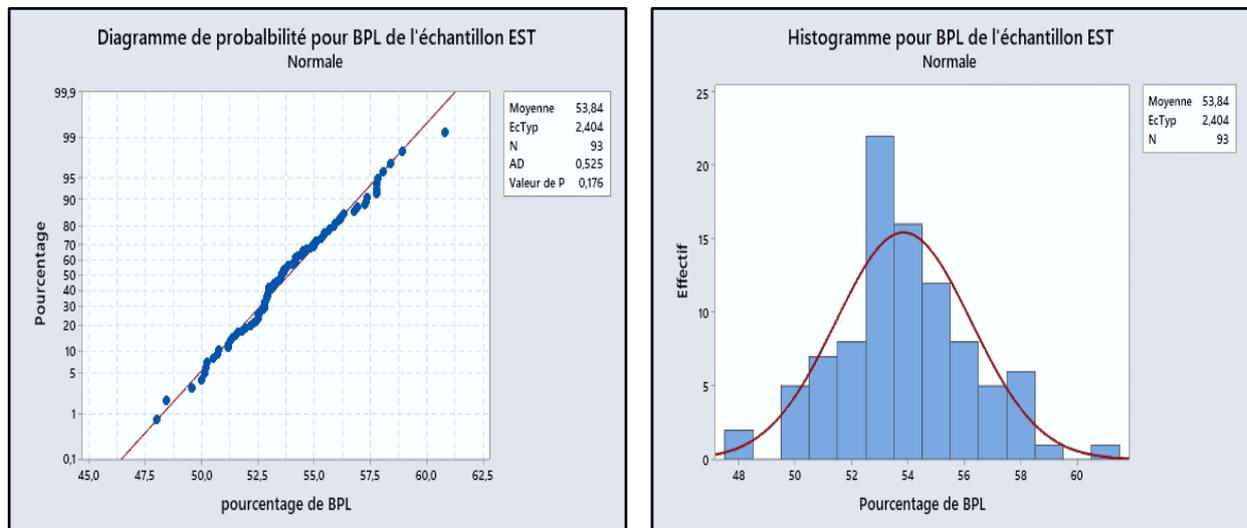


Figure 18: Etude de normalité pour BPL de l'échantillon EST

Pour étudier la normalité de cette observation, nous faisons un test statistique de normalité (test de Anderson-darling).

Il est prouvé que les données collectées pour la teneur en BPL de l'échantillon EST correspondent à la distribution normale, puisque toutes les valeurs sont alignées autour de la droite, et la valeur de $P = 0.176 > 0.05$.

Nous pouvons aussi confirmer ces résultats par la représentation des données par l'histogramme, L'histogramme obtenu par le logiciel MINITAB montre que la courbe a une forme en cloche, ce qui suggère une normalité de la distribution des données.

❖ *La carte de contrôle*

Sur une carte de contrôle au mesure Moyenne-Etendue nous avons représenté les données ainsi les limites de contrôle supérieur, inférieur et la moyenne.

▪ **Carte X :**

$$\text{LSC} = 55,967$$

$$\bar{X} = 53,842$$

$$\text{LIC} = 51,716$$

▪ **Carte R :**

$$\text{LSC} = 5,348$$

$$\text{LIC} = 0$$

Les tolérances fixer par l'entreprise sont les suivant :

$$\text{TS} = 59$$

$$\text{Cible} = 57$$

$$\text{TI} = 55$$

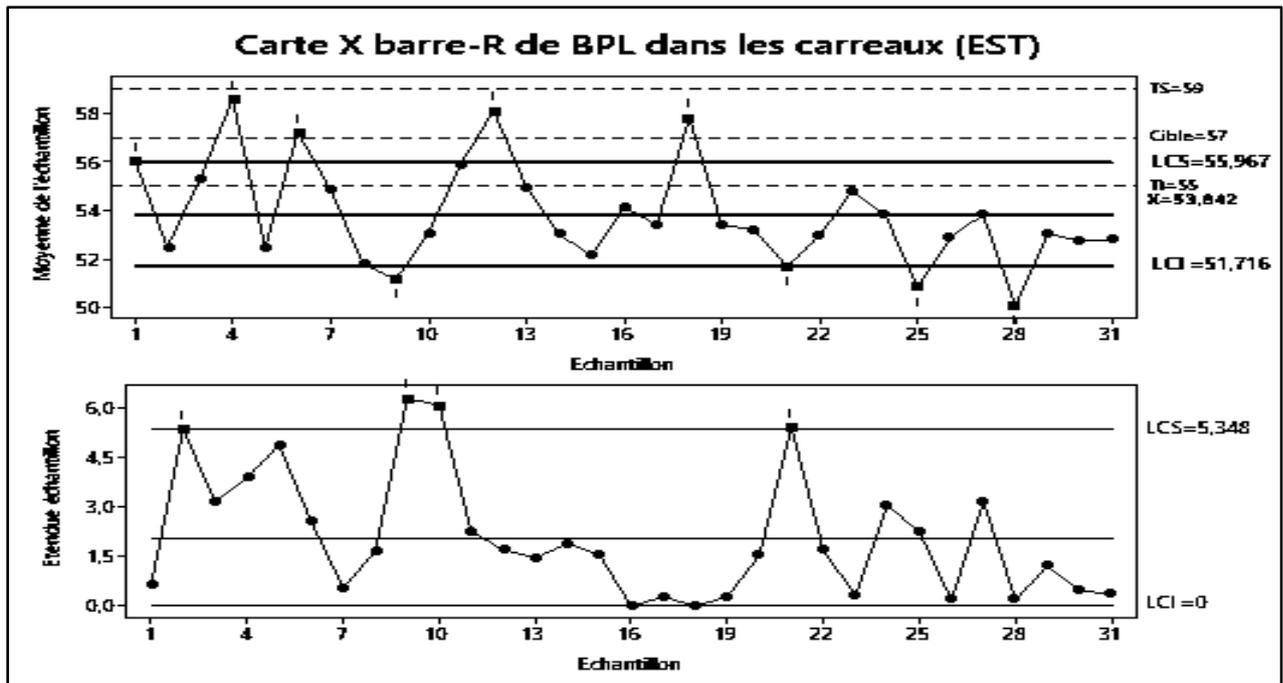


Figure 19 :carte de contrôle de BPL de l'échantillon EST

D'après la carte de moyenne nous pouvons remarquer que le procédé est hors contrôle car plusieurs points sont hors limites.

D'après la carte de l'étendue nous pouvons constater que les écarts entre deux ou plusieurs points consécutifs est grand nous pouvons dire donc que le procédé est instable.

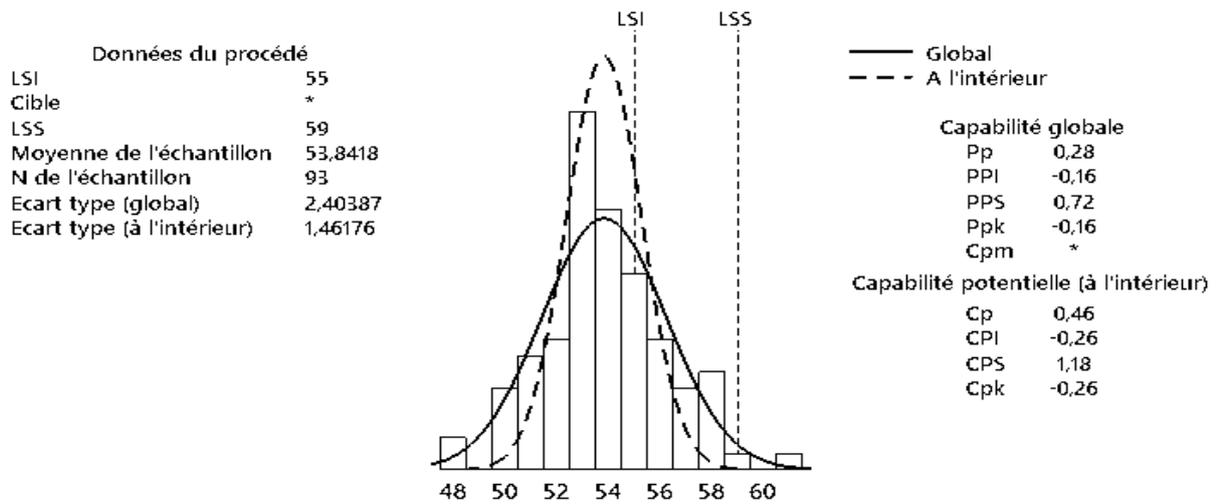
❖ *Etude de capacité*

La capacité est une analyse importante pour garantir la qualité, et satisfaire le client. Pour se faire, nous sommes basés toujours sur l'échantillonnage du mois Mai 2021 afin de calculer la capacité du procédé par le logiciel MINITAB.

D'après la figure ci-dessous, les indicateurs de capacités Cp et CpK sont inférieurs aux résultats attendus qui est de 1.33, alors le procédé n'est pas capable, et n'est pas centrée sur la moyenne de l'intervalle de tolérance.

Les points hors limites peuvent avoir une importance influence sur la capacité du procédé qui sont due généralement aux causes spéciales

Rapport de capabilité du procédé pour BPL dans les carreaux (EST)



	Performances		
	Observé	Valeur attendue globale	Valeur attendue à l'intérieur
PPM < LSI	698924,73	685024,10	785911,31
PPM > LSS	10752,69	15945,35	208,77
PPM Total	709677,42	700969,45	786120,08

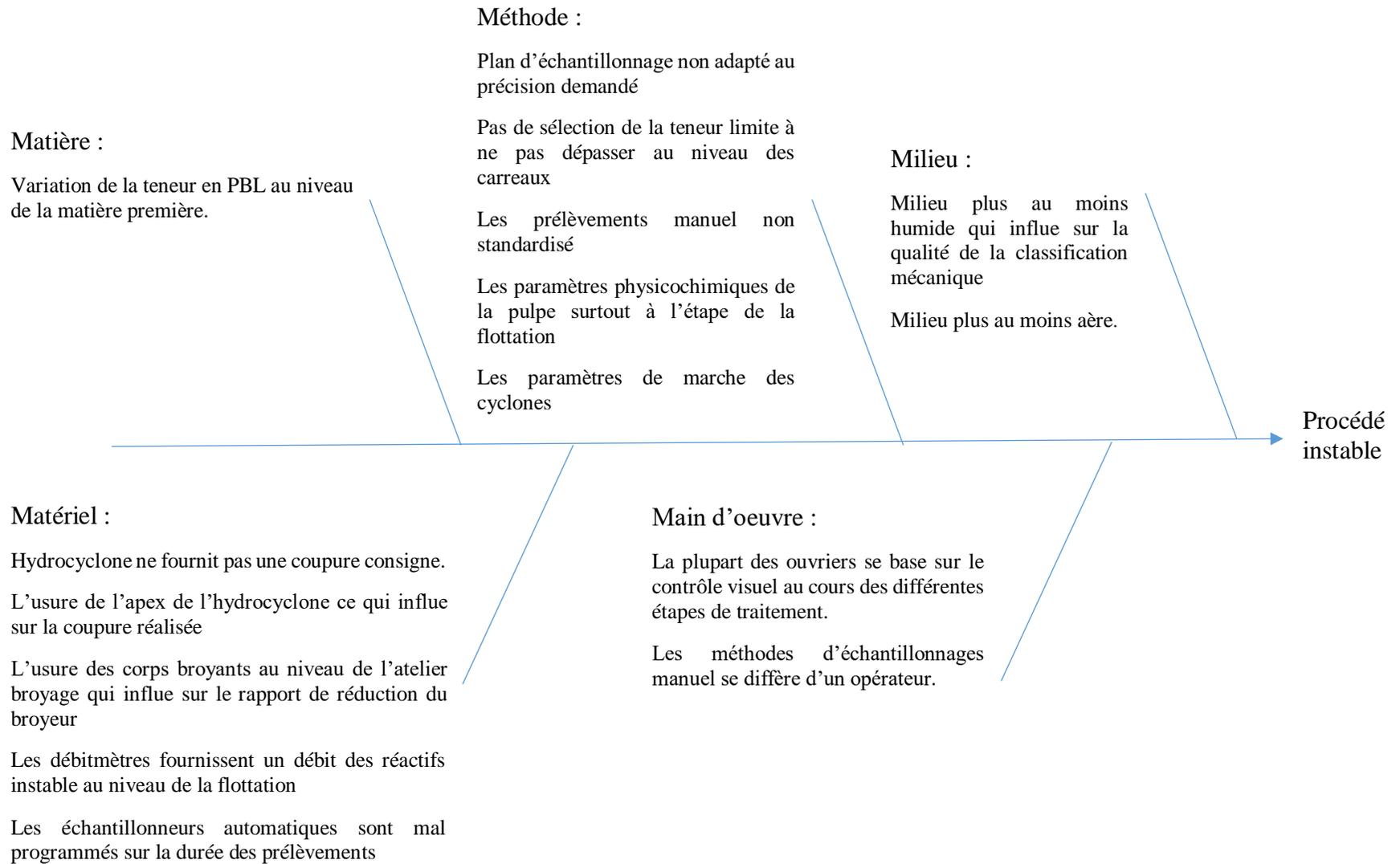
La répartition réelle du procédé est représentée par 6 sigma.

Figure20 :Rapport de capabilité du procédé pour BPL de l'échantillon EST

IX. Analyse des causes

1. Diagramme d'Ishikawa

La fluctuation de la teneur en BPL est due à de nombreuses causes qui ont été regroupées dans un diagramme Cause-Effet. La cause détaillée est liée généralement à la granulométrie. Le contrôle de la granulométrie dans la section de la classification hydraulique apparait non maitrisable au sein de l'usine de traitement.



2. Interprétation : méthode des 5M

a) Matière :

Usine de laverie traite différents chantiers qui n'ont pas les mêmes caractéristiques pétrographiques. Cependant il est nécessaire de reconnaître les caractéristiques de chacun d'eux pour pouvoir détecter la cause du problème. Certains d'entre eux sont caractérisés par une humidité très élevée pouvant causer beaucoup de problèmes au niveau du criblage ; d'autres se sont distingués par leur abrasivité, ces paramètres agissent négativement sur le fonctionnement des concasseurs et des broyeurs.

b) Matériels :

Le matériel constitue un facteur de base ; donc son dysfonctionnement influe totalement sur la production. La majeure partie du matériel, particulièrement les concasseurs et les broyeurs présentent des usures dus à leur ancienneté ; ces usures influent gravement sur le rapport de réduction des concasseurs et broyeurs. Ceci permet d'obtenir une granulométrie très élevée que les cribles et les cyclones ne peuvent pas supporter. Ces appareils exigent un changement régulier de blindage et un réglage bien défini. Au niveau des hydrocyclones surtout dans le cas du cyclone PK201, le problème est lié à l'usure de l'apex. Ceci amène une mauvaise séparation des gains sur la partie conique du cyclone. On aurait dû changer le blindage régulièrement pour ce cyclone, afin de résister mieux aux chocs.

c) Main-d'œuvre :

La main-d'œuvre est très importante pour une installation industrielle ; donc les gens qui jouent ce rôle doivent être compétents et capables d'intervenir lorsqu'un problème est détecté au niveau des appareils. La plupart des gens qui travaillent dans l'industrie ne sont pas formés ; ou bien leur formation ne suffit pas pour gérer certains appareils et par conséquence ils comptent généralement sur le contrôle visuel.

d) Méthode :

C'est la démarche suivie au niveau du circuit de classification hydraulique y comprise l'installation des appareils. La technique de travail fait partir des principaux facteurs dont leur désorganisation a un impact sur l'ensemble de la production. La méthode appliquée au niveau du circuit de classification hydraulique est généralement plus complexe ceci due au fait que le traitement du phosphate se base sur la séparation par dimension, en plus de ça la méthode d'échantillonnage pour les analyses granulométriques ou granulo-chimiques est difficile vue à la masse prélevée.

e) Milieu :

Le milieu dans lequel est implantée l'usine, peut avoir des influences sur la production dans plusieurs domaines. Au niveau du circuit de criblage et concassage, le milieu est principalement caractérisé par une humidité considérable qui influe sur le criblage et le stockage de la matière concassée, sur le volet du risque présent le milieu est caractérisé par un fort bruit lié à l'ancienneté de l'installation.

Cependant, il est nécessaire de tenir en compte de l'impact de ce milieu pour bien repérer la source du problème qui se pose

X. Suivi de la granulométrie

La tâche entreprise a été le suivi de la granulométrie sur une durée bien déterminée et voir sa liaison avec la variation de la teneur en BPL dans les différents points étudiés surtout au niveau de la ligne HG pour pouvoir refléter l'effet de la granulométrie sur celle-ci.

En se focalisant sur la ligne HG nous allons étudier la batterie des cyclones PK201 qui est responsable de fournir la coupure de la qualité à teneur élevée en BPL ; la batterie PK201 constitue de 5 cyclones identiques fonctionnant en parallèle chaque cyclone est bien réglé de tel sorte qu'il réalise une coupure de 160 micromètres. Afin de vérifier la bonne marche de la batterie il est nécessaire donc de réaliser un diagnostic de la batterie PK201. A ce stade nous proposons de faire un suivi de la granulométrie de chaque cyclone de la batterie afin de détecter les dysfonctionnements présents à cette étape de traitement.

D'après le suivi de la granulométrie des cyclones nous pouvons tirer une première information sur le pourcentage du passant cumulé à la coupure.

Le tableau ci-dessous représente le pourcentage du passant cumulé à la coupure de $D_{80}=160\mu\text{m}$ des différents cyclones de la batterie PK201 :

N.B : D_{80} c'est la dimension qui laisse passer 80% de l'échantillon.

Cyclone	Passé cumulé Sous verse	Passé cumulé Surverse
HC1	24,75	76,88
HC2	12,44	86,1
HC3	11,53	54,75
HC4	21,36	75,65
HC5	15,68	63,3

D'après ces données nous pouvons constater que le pourcentage du passant cumulé à la surverse des cyclones HC1, HC3, HC4, HC5 n'atteint pas 80% tandis que le seul cyclone HC2 qui réalise la coupure avec un pourcentage de 86% du passant.

Etude du cyclone HC5 de la batterie PK201 :

Nous proposons d'évaluer les performances d'un cyclone (exemple étudié HC5) en se basant sur un ensemble de paramètres qui vont nous permettre de redimensionner le cyclone HC5 :

Aperçu sur la courbe de partage :

Ci-dessous la procédure mathématique de traçage de la courbe de partage :

- Bilan global : $A = U + \Theta$ (conservation solide).
- Bilan partiel : $ai A = ui U + oi \Theta$ (conservation de pulpe).

Avec :

ai = Dilution de l'alimentation et A = Alimentation.

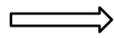
ui = Dilution de l'Under flow et U = Under flow.

oi = Dilution de l'over flow et **O**= Over flow.

On aura alors : $1 = U/A + \Theta/A$

$$ai = ui U/A + oi \Theta/A$$

Donc : $U/A = ((ai - oi) / (ui - oi)) * 100$



$$U = (U/A)_{moy} * U_i \text{ et } \Theta = (\Theta/A)_{moy} * \Theta_i$$

$$\text{Avec : } (\Theta/A)_{moy} = 100 - (U/A)_{moy}$$

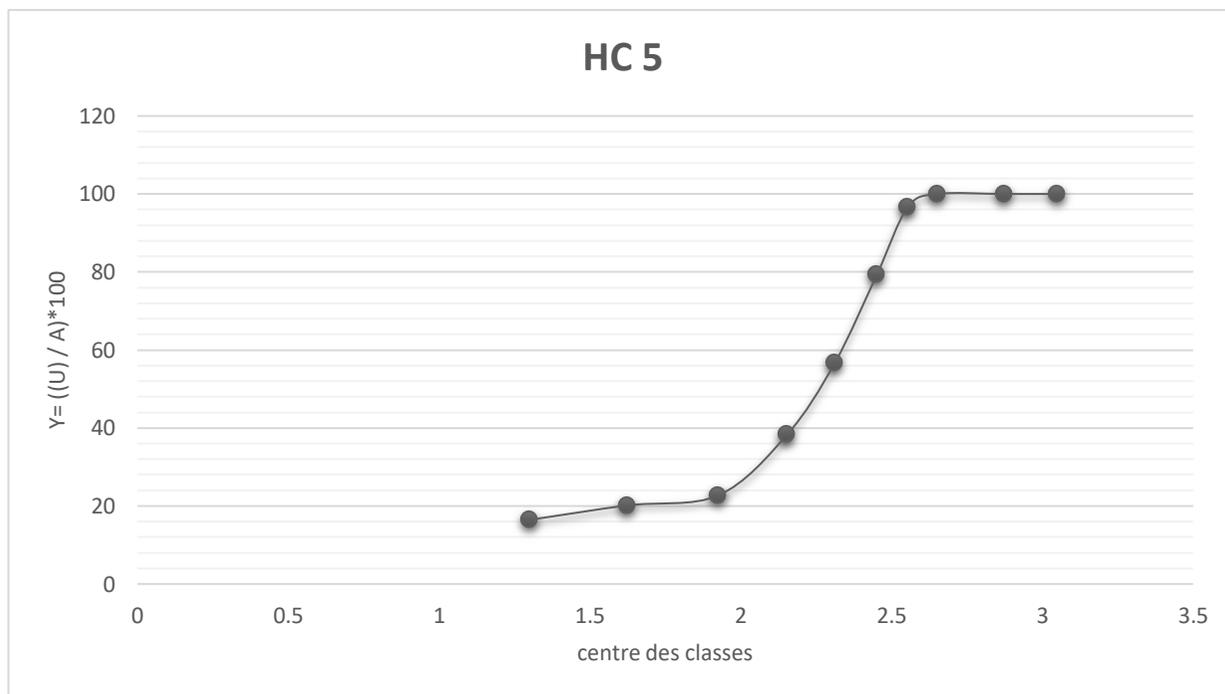
Et : $A_{reconstituée} = U + \Theta$

L'ordonnée de la courbe de partage : $Y = U/A$ reconstituée en % .

Le tableau ci-dessous représente les étapes de calcul pour le traçage de la courbe de partage :

Tableau 6: les données de calcul pour HC5

Tranche granulométrique (μm)			Masses (%)			RENDEMENT POID	débit par tanche		Alimentation reconstituée A	Abscisse de la courbe	Ordonnée de la courbe
classes	centre des classes	Alimentation (A)	Sous verse (UF)	Surverse (OF)	U/A	Sous verse (U)	Surverse (O)	A = (U) + (O)	log (centre des classes)	Y= ((U) / A)*100	
1250	1000	1125	0	0,02	0	223	0,0446	0,0000	0,0446	3,0512	100
1000	500	750	4,46	11,62	0	0,3838	0,0446	0,0000	0,0446	2,8751	100
500	400	450	7,31	10,63	0	0,6877	0,0731	0,0000	0,0731	2,6532	100
400	315	357,5	11,75	14,4	0,52	0,8091	0,1165	0,0042	0,1207	2,5533	96,5147
315	250	282,5	13,47	14,84	3,89	0,8749	0,1298	0,0340	0,1639	2,4510	79,2312
250	160	205	24,95	24,32	18,61	1,1103	0,2700	0,2066	0,4767	2,3118	56,6504
160	125	142,5	10,1	8,49	13,68	0,6898	0,0586	0,0944	0,1529	2,1538	38,2950
125	44	84,5	14,67	9,5	32,24	0,7726	0,0734	0,2491	0,3225	1,9269	22,7599
44	40	42	0,51	0,28	1,11	0,7229	0,0020	0,0080	0,0100	1,6232	20,1439
40	0	20	12,78	5,9	29,95	0,7139	0,0421	0,2138	0,2559	1,3010	16,4575
Total			100	100	100						



d75	d25	d50	d80	Ep	Imp.
245	125	170	315	72	0,424

La courbe de partage réel de l'hydrocyclone HC5 est relativement loin de la forme de S et l'imperfection réelle est de 0,424 qui est une valeur acceptable industriellement car elle est comprise entre $0,3 < \text{Imp.} < 0,6$. Les résultats de l'analyse ont donné une coupure ($d_{50} = 170 \mu\text{m}$; $d_{80} = 315$), loin de la coupure opératoire souhaitée ($160 \mu\text{m}$), cela signifie que la batterie des hydrocyclones ne fonctionne assez correctement, et que l'hydrocyclone fournit une granulométrie indésirable.

Conclusion

De nos jours, la qualité devient à la fois un enjeu et un défi majeurs, les entreprises ayant comme objectif de palier à la concurrence doivent mettre en place une politique qualité pour défendre ses produits sur le marché et aller vers l'excellence.

C'est dans ce contexte que la Maitrise Statistique de Procédés (MSP) se présente comme une méthode idéale, puisqu'elle conjugue à la fois des outils statistiques et la manière de les mettre en œuvre pour chercher les anomalies et vérifier l'aptitude des procédés et des caractéristiques du produit, en contrepartie trouver les solutions adéquates.

La normalité des données permet la réalisation de carte de contrôle pour le suivi et le pilotage du processus de production, car les cartes de contrôle exigent une normalité des données.

L'analyse profonde des cartes de contrôle, nous a permis de détecter la présence d'anomalie, procédé hors contrôle et instable. D'après le rapport de capabilité, on remarque que la capabilité de procédé est insuffisante.

Afin d'améliorer les performances qualité, nous faisons appel au diagramme Cause-Effet (5M), pour chercher l'origine de la fluctuation de la teneur en BPL.

Nous avons pu détecter que le problème est lié généralement à la granulométrie au sein de l'usine de traitement. Le contrôle de la granulométrie dans la section de la classification hydraulique apparaît non maitrisable au sein de l'usine de traitement.

Pour cela nous proposons de faire un suivi de la granulométrie pour la batterie des cyclones PK201 qui est responsable de fournir la coupure de la qualité a teneur élevé en BPL, afin de détecter les dysfonctionnements présentent à cette étape de traitement.

D'après les résultats obtenus il s'apparait que la classification hydraulique est non maitrisable puisque le pourcentage du passant cumulé a la surverse des cyclones HC1, HC3, HC4, HC5 n'atteint pas 80% tandis que le seul cyclone HC2 qui réalise la coupure avec un pourcentage de 86% du passant.

Ce stage était une véritable expérience bénéfique et une occasion pour appliquer mes connaissances théoriques acquises pendant ma formation, au même temps améliorer mes capacités et mes compétences

Annexes

- **Échantillon OUEST**

Le tableau suivant collecte les résultats de l'analyse chimique de BPL au niveau des carreaux pour l'échantillon OUEST pendant le mois mai 2021. Pour chaque jour on prend 3 échantillons.

Tableau 7: les données pour le BPL de l'échantillon OUEST

Date	X1	X2	X3
01/05/2021	53,3	55,2	52,7
02/05/2021	52,13	50,23	55,08
03/05/2021	55,86	57,45	57,74
04/05/2021	55,26	54,62	55,7
05/05/2021	54,26	53,84	55,24
06/05/2021	56,02	57,29	52,06
07/05/2021	52,32	52,87	51,91
08/05/2021	58,06	51,34	50,18
09/05/2021	56,4	54,61	54,94
10/05/2021	54,17	55,56	53,79
11/05/2021	51,14	56,52	52,2
12/05/2021	52,42	50,63	48,17
13/05/2021	60,57	56,34	53,16
14/05/2021	54,85	52	54,08
15/05/2021	54,99	53,11	55,89
16/05/2021	55,87	49,64	50,64
17/05/2021	56,99	54,04	50,62
18/05/2021	50,66	50,24	51,94
19/05/2021	49,29	49,51	53,34
20/05/2021	53,08	57,06	53,55
21/05/2021	55,75	52,6	51,2
22/05/2021	52,63	50,22	53,78
23/05/2021	51,15	45,23	52,66
24/05/2021	52,2	53,41	54,24
25/05/2021	53,04	53,7	52,88
26/05/2021	55,87	53,69	55,09
27/05/2021	52,47	52,92	52,77
28/05/2021	54,75	55,02	52,9
29/05/2021	48,86	51,42	50,97
30/05/2021	50,85	54,83	50,01
31/05/2021	53,42	53,12	53,34

❖ Etude de normalité de distribution (henry + HISTOGRAMME)

Pour vérifier la maîtrise des causes de variation, on se basons sur les lois de normalités. Ce test se fait par plusieurs méthodes, on va prendre comme méthode la droite de Henry et l'histogramme de distribution. En plongeant les données dans MINITAB nous avons obtenu les résultats suivants :

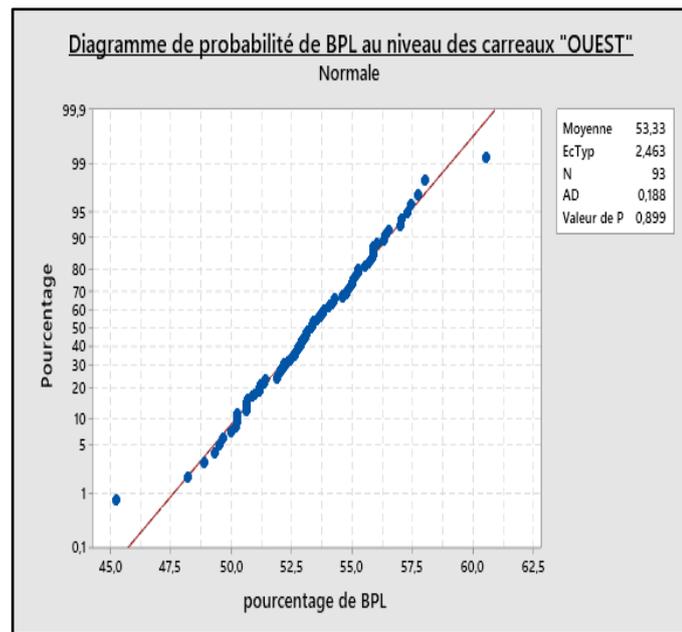
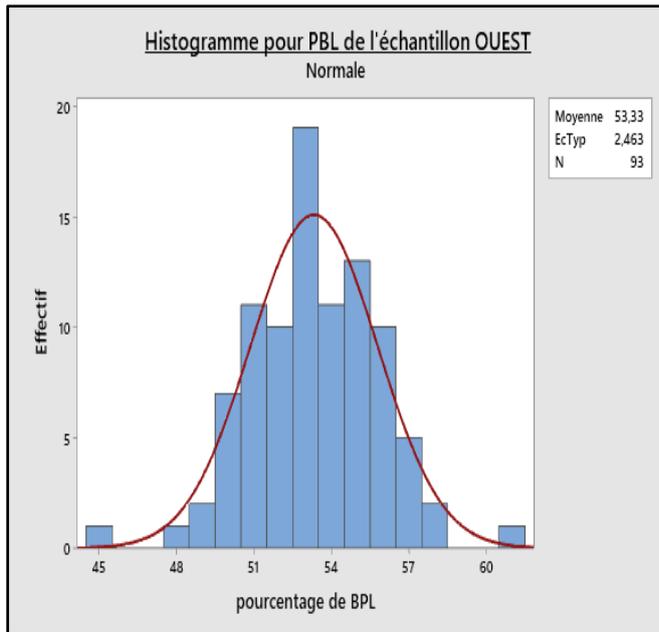


Figure 21: Etude de normalité pour BPL de l'échantillon de OUEST

D'après l'histogramme, on voit que la courbe sous forme de cloche, cela signifie que la distribution suit la loi normale.

Pour confirmer cette observation, on a fait appel au test de normalité, puisque tous les points sont alignés autour de la droite, et la valeur de $P=0.899 > 0.05$ alors la distribution suit la loi normale.

❖ **La carte de contrôle**

Sur une carte de contrôle au mesure Moyenne-Etendue nous avons représenté les données ainsi les limites de contrôle supérieur, inférieur et la moyenne.

❖ **Carte X :**

LSC = 56,800

$\bar{X} = 53,330$

LIC = 49,860

❖ **Carte R :**

LSC = 8,733

LIC = 0

Les tolérances fixer par l'entreprise sont les suivant :

TS = 59

Cible = 57

TI = 55

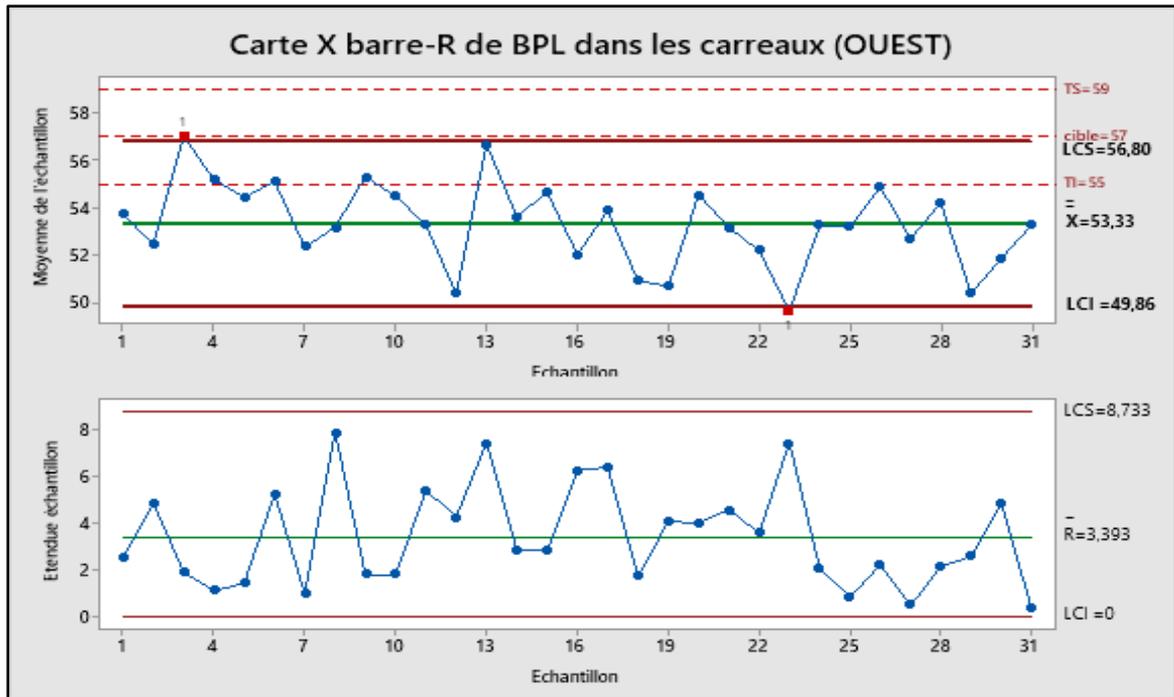


Figure 22:carte de contrôle pour BPL de l'échantillon OUEST

L'évolution graphique, montre l'existence de deux points hors limites de tolérances, et par conséquence le procédé n'est pas sous contrôle.

❖ *Etude de capacité*

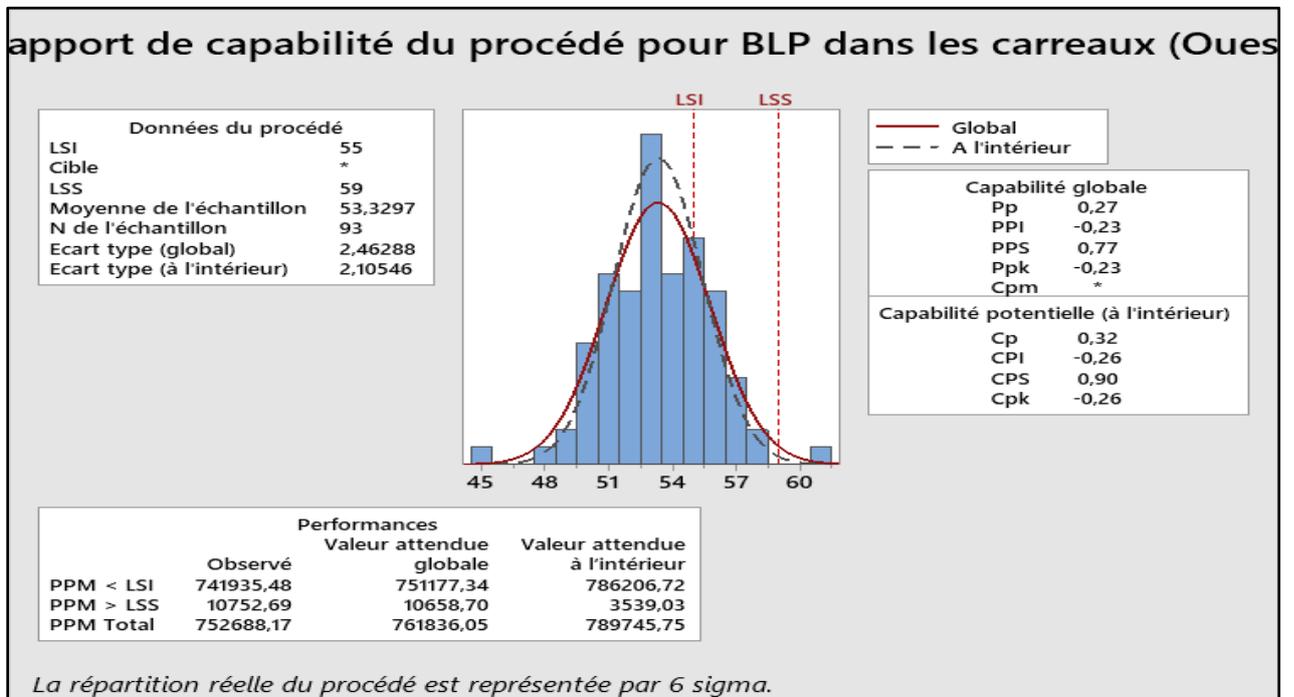


Figure 23:capabilité de procédé après l'élimination des points hors contrôle

Les indicateurs de capacité sont inférieurs aux résultats attendus qui est de 1,33, ce qui signifie que le procédé est non capable et décentré sur la moyenne de l'intervalle de tolérance.

❖ *Suivi et contrôle de qualité au niveau de l'entrée et la sortie HG*

- Entrée HG

Le tableau suivant montre les résultats de l'analyse chimique de BPL à l'entrée de la laverie pendant le mois mai 2021. Pour chaque jour on prend 3 échantillons :

Tableau 8:les données pour le BPL à l'entrée HG

Date	X1	X2	X3
01/05/2021	53,8	53	57,3
02/05/2021	57,48	59,87	58,81
03/05/2021	57,05	57,68	54,58
04/05/2021	57,27	57,21	59,39
05/05/2021	51,56	51,89	51,6
06/05/2021	46,29	53,97	51,43
07/05/2021	54,11	54,05	54,59
08/05/2021	52,4	57,97	53,27
09/05/2021	54,06	53,65	54,76
10/05/2021	55,66	51,16	53,38
11/05/2021	58,74	55,02	57,46
12/05/2021	54,81	56,79	53,65
13/05/2021	55,05	51,64	52,05
14/05/2021	52,48	53,66	54,53
15/05/2021	55,38	54,41	54,37
16/05/2021	55,34	57,15	54,97
17/05/2021	54,26	54,08	51,04
18/05/2021	58,95	57,58	52,65
19/05/2021	55,99	56,54	55,3
20/05/2021	55,21	50,11	52,67
21/05/2021	54,04	52,49	53,53
22/05/2021	52,01	53,21	51,71
23/05/2021	53,36	55,57	51,43
24/05/2021	53,33	54,22	55,51
25/05/2021	54,07	54,07	54,07
26/05/2021	59,25	51,41	51,8
27/05/2021	52,84	55,33	53,57
28/05/2021	56,52	52,77	55,28
29/05/2021	55,83	57,68	62,26
30/05/2021	57,33	49,79	53,26
31/05/2021	52,13	51,73	51,57

❖ **Etude de normalité de distribution (henry + HISTOGRAMME)**

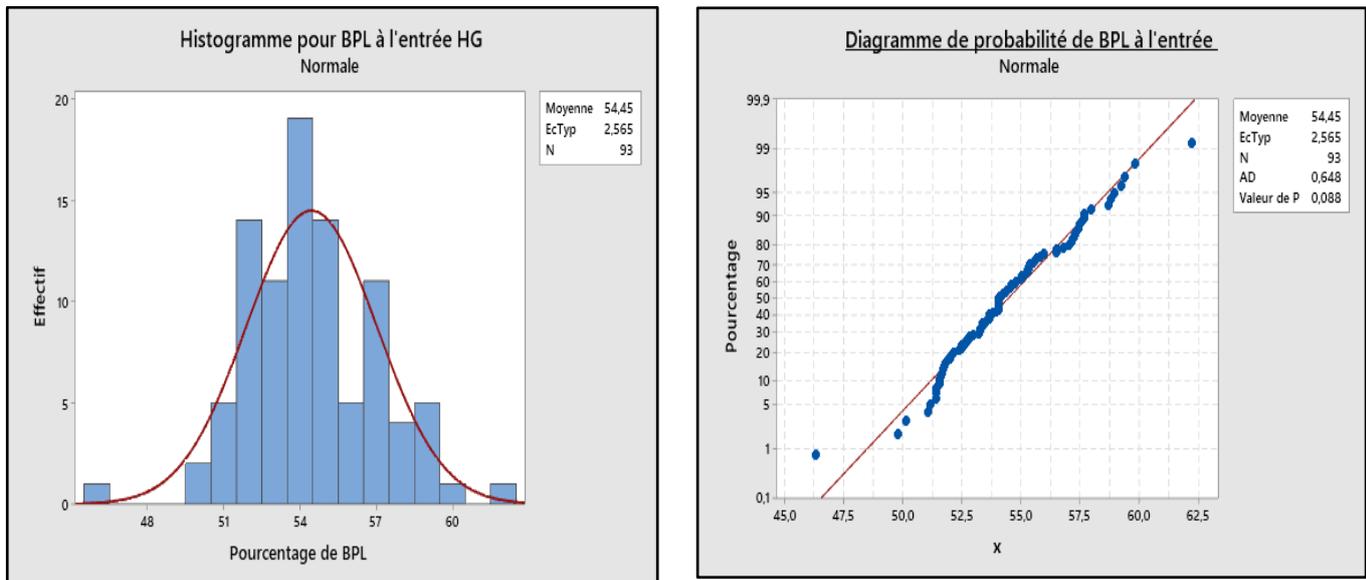


Figure 24; Etude de normalité de BPL à l'entrée

L'histogramme obtenu montre que la courbe a une forme en cloche, ce qui suggère une normalité de la distribution des données.

Pour confirmer cette observation, nous faisons un test statistique de normalité.

Les résultats sont distribués normalement, toutes les valeurs sont alignées autour de la droite, et la valeur de $P=0.088 > 0.05$ donc la distribution suit la loi normale.

❖ **La carte de contrôle**

Sur une carte de contrôle au mesure Moyenne-Etendue nous avons représenté les données ainsi les limites de contrôle supérieur, inférieur et la moyenne.

❖ **Carte X :**

$$\text{LSC} = 57,787$$

$$\bar{X} = 54,453$$

$$\text{LIC} = 51,118$$

❖ **Carte R :**

$$\text{LSC} = 8,391$$

$$\text{LIC} = 0$$

Les tolérances fixer par l'entreprise sont les suivant :

$$\text{TS} = 59$$

$$\text{Cible} = 57$$

$$\text{TI} = 55$$

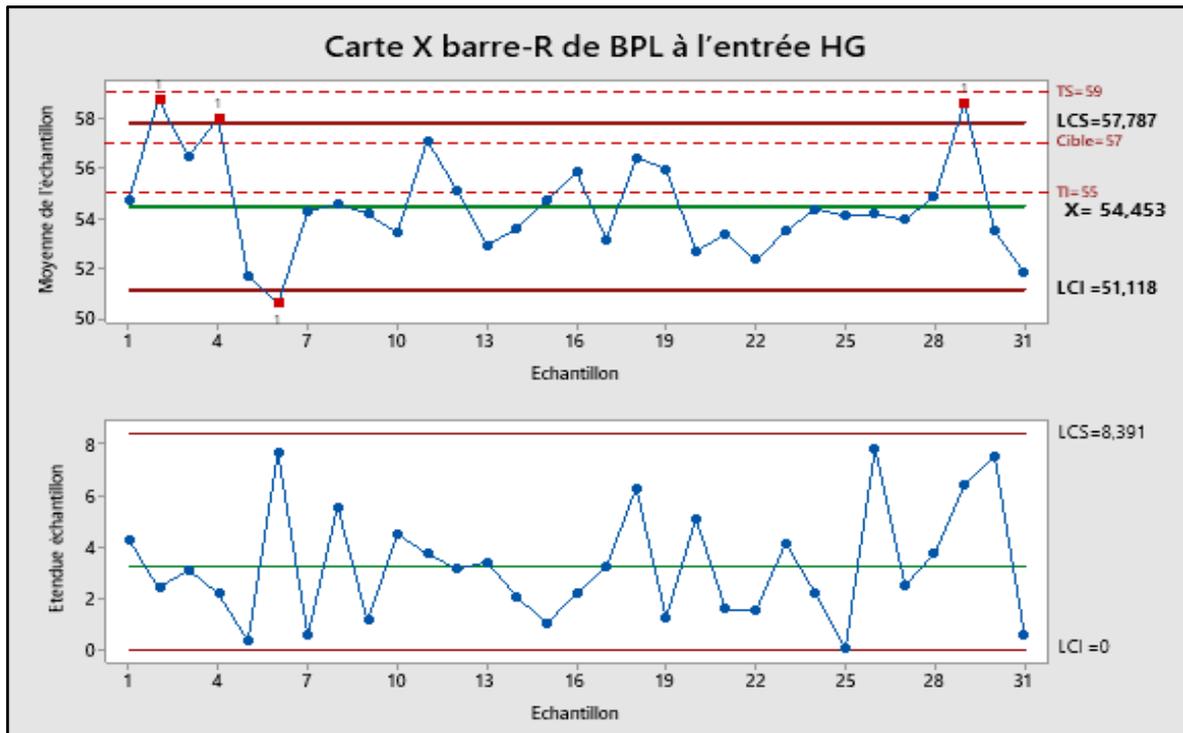


Figure 25:carte de contrôle pour BPL à l'entrée

On remarque la présence de quatre points en dehors des limites de contrôles, donc ce procédé n'est pas sous contrôle statistique.

❖ Etude de capacité

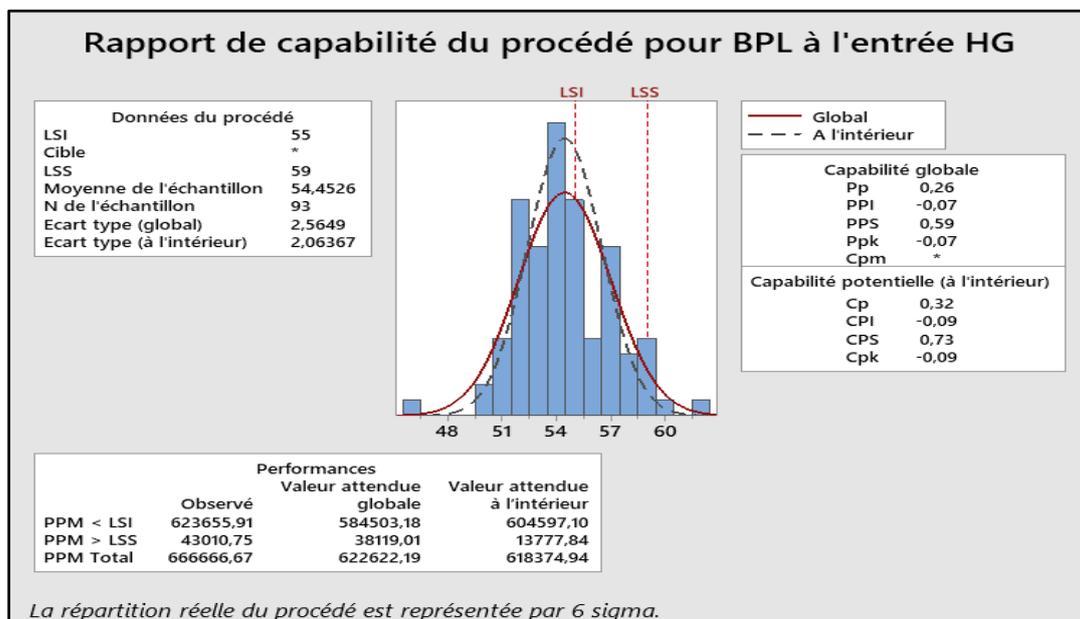


Figure26 :capabilité du procédé pour BPL à l'entrée HG

Les valeurs de Cp et Cpk nous donnent d'autres informations utiles : La valeur de Cp égale à 0,32 n'est pas bonne ; ce qui signifie que le procédé de traitement de phosphate à l'entrée HG est non capable.

La valeur de Cpk indique que la distribution n'est pas correctement centrée entre les limites de tolérance.

- Sortie HG

Le tableau ci-dessous représente les résultats des analyses chimique de BPL à la sortie HG

Tableau 9:les données pour le BPL à la sortie HG

Date	X1	X2	X3
01/05/2021	62,5	62,4	62,45
02/05/2021	62,2	62,2	62,2
03/05/2021	62,8	65,7	64,25
04/05/2021	65,8	65,24	65,08
05/05/2021	64,98	63,68	64,6
06/05/2021	63,56	63,94	63,54
07/05/2021	63,87	64	61,4
08/05/2021	62,04	62,06	61,79
09/05/2021	63,88	62,98	64,08
10/05/2021	62	62,16	62,9
11/05/2021	62,08	61,18	61,63
12/05/2021	62,15	62	62,15
13/05/2021	62	61,58	64,61
14/05/2021	65,54	63,59	64,56
15/05/2021	63,76	64,36	64,54
16/05/2021	65,18	65,74	64,82
17/05/2021	66,44	66,12	62,28
18/05/2021	65,53	66,2	65,6
19/05/2021	64,5	64,85	64,72
20/05/2021	65,75	62,14	66,18
21/05/2021	63,48	63,37	63,59
22/05/2021	60,99	61,28	61,13
23/05/2021	60,83	63,5	62,16
24/05/2021	62,37	62,7	62,53
25/05/2021	63,1	63,1	63,1
26/05/2021	65,9	65,68	62,93
27/05/2021	60,73	62,31	61,51
28/05/2021	66,45	66	65,29
29/05/2021	65,51	61,58	65,82
30/05/2021	62,23	60,17	60
31/05/2021	61,18	60,67	64,2

❖ **Etude de normalité de distribution (henry + HISTOGRAMME)**

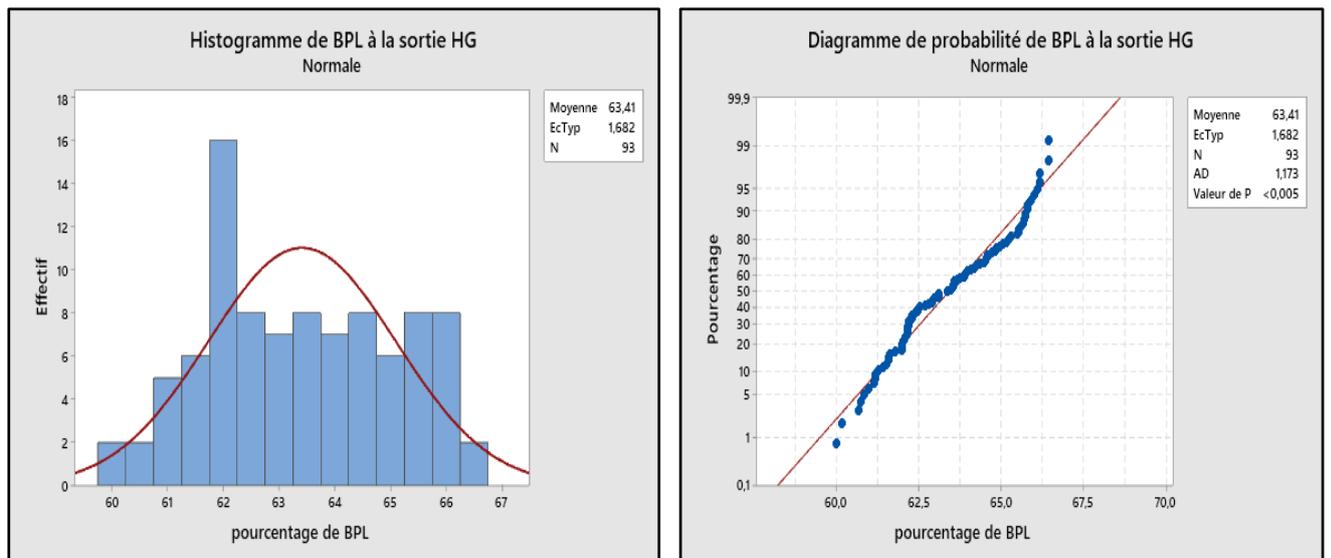


Figure 27: Etude de normalité de la distribution à la sortie HG

D'après l'histogramme de la distribution, on voit que la courbe n'est pas une courbe de Gauss, donc la normalité est vérifiée.

Le test statistique de normalité a confirmé les résultats de l'histogramme, la distribution ne suit pas la loi normale. Mais puisque les cartes de contrôle exigent une normalité des données, on va supposer que notre distribution il suit la loi normale.

❖ **La carte de contrôle**

Sur une carte de contrôle au mesure Moyenne-Etendue nous avons représenté les données ainsi les limites de contrôle supérieur, inférieur et la moyenne.

❖ **Carte X :**

$$LSC = 64,947$$

$$\bar{X} = 63,413$$

$$LIC = 61,880$$

❖ **Carte R :**

$$LSC = 3,858$$

$$LIC = 0$$

Les tolérances fixer par l'entreprise sont les suivant :

$$TS = 67$$

$$Cible = 66$$

$$TI = 65$$

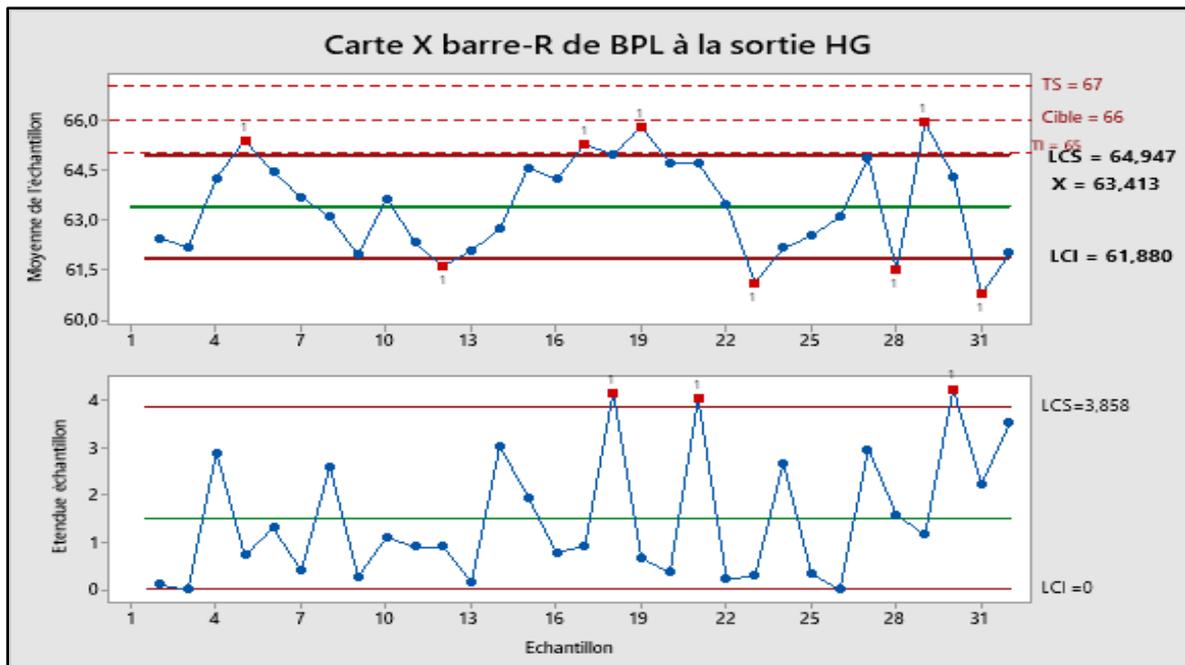


Figure 28:carte de contrôle pour BPL à la sortie HG

On constate que 8 points ne sont pas inclus entre les deux limites de contrôles. Donc le procédé est hors contrôle.

On remarque une absence de série de 7 points consécutif au-dessus ou dessous de la moyenne, descendants ou ascendants, donc il n'y a pas de phénomène de série.

❖ Etude de capacité

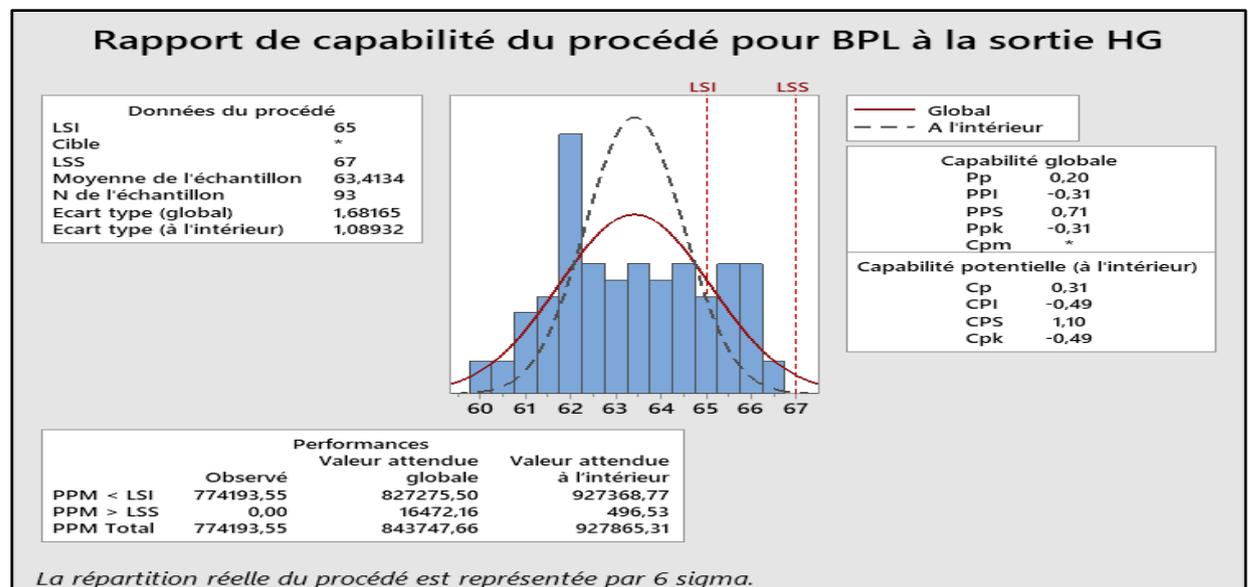


Figure 29:capabilité du procédé pour BPL à la sortie HG

Il s'est avéré que notre procédé n'est plus capable, selon le rapport de capacités, puisque la capacités Cp est inférieure à 1,33, et on remarque aussi une grande décentration du processus par rapport à la cible. $C_p < 0,67$ est très insuffisant, donc il faut une analyse immédiate des causes

Tableau 10:les données de calcul pour HCl

Tranche granulométrique (μm)		Masses (%)			RENDEMENT POID	débit par tanche		Alimentation reconstituée A	Abscisse de la courbe	Ordonnée de la courbe
classes	centre des classes	Alimentation (A)	Sous verse (UF)	Surverse (OF)	U/A	Sous verse (U)	Surverse (O)	A = (U) + (O)	log (centre des classes)	Y= ((U) / A)*100
1250	1000	1125	0	7,18	0,771587744	0,0554	0,0000	0,0554	3,051152522	100
1000	500	750	5,54	13,53	0,409460458	0,0554	0,0000	0,0554	2,875061263	100
500	400	450	7,33	7,97	0,919698871	0,0733	0,0000	0,0733	2,653212514	100
400	315	357,5	11,89	10,62	1,119924457	0,1189	0,0003	0,1193	2,553276046	99,71830986
315	250	282,5	14,16	11,04	1,338394794	0,1478	0,0244	0,1721	2,451018452	85,84758942
250	160	205	27,19	18,32	2,454098361	0,4496	0,2999	0,7495	2,311753861	59,98690242
160	125	142,5	10,95	6,59	-0,772357724	-0,0509	-0,0699	-0,1208	2,153814864	42,13554987
125	44	84,5	13,47	9,09	0,683526012	0,0621	0,1567	0,2189	1,926856709	28,38850718
44	40	42	0,36	0,39	1,034090909	0,0040	0,0131	0,0172	1,62324929	23,4939759
40	0	20	9,11	15,27	1,164661855	0,1778	0,6135	0,7914	1,301029996	22,47240618
Total		100	100	100						

Tableau 11: les données de calcul pour HC2

Tranche granulométrique (μm)		Masses (%)			RENDEMENT POID	débit par tanche		Alimentation reconstituée A	Abscisse de la courbe	Ordonnée de la courbe	
Classes	centre des classes	Alimentation (A)	Sous verse (UF)	Surverse (OF)	U/A	Sous verse (U)	Surverse (O)	A = (U) + (O)	log (centre des classes)	Y= ((U) / A)*100	
1250	1000	1125	0	0,76	0	7,289473684	0,0554	0,0000	0,0554	3,051152522	100
1000	500	750	5,54	11,8	0	0,469491525	0,0554	0,0000	0,0554	2,875061263	100
500	400	450	7,33	10,7	0	0,685046729	0,0733	0,0000	0,0733	2,653212514	100
400	315	357,5	11,89	14,77	0	0,805010156	0,1189	0,0000	0,1189	2,553276046	100
315	250	282,5	14,16	15,46	0,7	0,911924119	0,1410	0,0064	0,1474	2,451018452	95,66831683
250	160	205	27,19	25,42	6,92	1,095675676	0,2785	0,0758	0,3543	2,311753861	78,60235003
160	125	142,5	10,95	8,65	6,28	1,970464135	0,1704	0,1237	0,2942	2,153814864	57,93703952
125	44	84,5	13,47	7,92	20,84	0,570433437	0,0452	0,1189	0,1641	1,926856709	27,53824757
44	40	42	0,36	0,17	1,29	0,830357143	0,0014	0,0107	0,0121	1,62324929	11,64383562
40	0	20	9,11	4,35	63,97	0,92016102	0,0400	0,5886	0,6287	1,301029996	6,367096019
Total		100	100	100							

Tableau 12: les données de calcul pour HC3

Tranche granulométrique (μm)		Masses (%)			RENDEMENT POID	débit par tanche		Alimentation reconstituée A	Abscisse de la courbe	Ordonnée de la courbe	
Classes	centre des classes	Alimentation (A)	Sous verse (UF)	Surverse (OF)	U/A	Sous verse (U)	Surverse (O)	A = (U) + (O)	log (centre des classes)	Y= ((U) / A)*100	
1250	1000	1125	0,34	9,7	0	0,035052	0,0003	0,0000	0,0003	3,051152522	100
1000	500	750	15,42	76,56	0	0,201411	0,0140	0,0000	0,0140	2,875061263	100
500	400	450	28,08	78,05	0	0,359769	0,0255	0,0000	0,0255	2,653212514	100
400	315	357,5	46,32	126,82	1,3	0,358668	0,0413	0,0020	0,0433	2,553276046	95,4105438
315	250	282,5	51,52	135,22	3,87	0,362771	0,0446	0,0060	0,0506	2,451018452	88,16002002
250	160	205	189,9	401,23	47,03	0,40336	0,1471	0,0809	0,2280	2,311753861	64,51464537
160	125	142,5	93,5	145,89	53,9	0,430482	0,0571	0,0990	0,1560	2,153814864	36,58053637
125	80	102,5	57,49	70,65	47,35	0,435193	0,0279	0,0879	0,1158	2,010723865	24,12560316
80	40	60	26,78	27,07	29,64	1,11284	0,0274	0,1407	0,1680	1,77815125	16,29179168
40	0	20	40,68	29,12	51,39	0,480916	0,0127	0,1054	0,1181	1,301029996	10,77439736
Total		550,03	1100,31	234,48							

Tableau 13: les données de calcul pour HC4

Tranche granulométrique (μm)		Masses (%)			RENDEMENT POID	débit par tanche		Alimentation reconstituée A	Abscisse de la courbe	Ordonnée de la courbe
Classes	centre des classes	Alimentation (A)	Sous verse (UF)	Surverse (OF)	U/A	Sous verse (U)	Surverse (O)	A = (U) + (O)	log (centre des classes)	Y= ((U) / A)*100
1250	1000	1125	0	0	-	-	-	-	3,051152522	-
1000	500	750	5,54	5,63	0	0,98401421	0,0554	0,0000	2,875061263	100
500	400	450	7,33	7,83	0	0,93614304	0,0733	0,0000	2,653212514	100
400	315	357,5	11,89	12,64	0	0,940664557	0,1189	0,0000	2,553276046	100
315	250	282,5	14,16	14,76	1,61	0,954372624	0,1409	0,0154	2,451018452	90,16493586
250	160	205	27,19	27,27	12,33	0,994645248	0,2712	0,1226	2,311753861	68,86363636
160	125	142,5	10,95	10,51	10,41	5,4	0,5675	0,5621	1,1297	50,23900574
125	44	84,5	13,47	12,61	29,08	0,947783849	0,1195	0,2756	1,926856709	30,24706165
44	40	42	0,36	0,35	1,48	0,991150442	0,0035	0,0147	1,62324929	19,12568306
40	0	20	9,11	8,4	45,09	0,980648678	0,0824	0,4422	1,301029996	15,70386988
Total		100	100	100						

Référence Bibliographiques

[1]. Le site web officiel d'OCP : www.ocpgroup.ma

[2]. MAGNIES, M. L. (2014). *Qualification d'une ligne de conditionnement primaire et mise en place de la Maîtrise Statistique des Processus*. 1–92. <https://pepite-depot.univ-lille2.fr/nuxeo/site/esupversions/78d759f5-85e7-4067-bd97-4bf2743e4425>

[3]. *Système de Gestion de la qualité au Laboratoire Manuel complet - Version préliminaire*. (n.d.).

[4]. *Chapitre 3 Maîtrise Statistique des Procédés MSP/SPC I. Définition et Statistique de base*. (n.d.). 1–56.

[5]. Le, A. (n.d.). *Rapport de fin de formation Sous le thème CONTRÔLE DE*. 1–29.

2019/2020

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom : BAMMOU Oumayma

Titre : Suivi de contrôle de qualité de la laverie MEA

Résumé

Pour répondre aux exigences du marché et garantir un produit marchant à même de préserver au Groupe OCP sa place à la tête de l'exportateur de phosphate sous toutes ses formes, ce dernier fixe comme objectif permanent l'optimisation et l'amélioration continue de ses différents secteurs d'activités. Il s'oriente vers l'application d'une démarche d'amélioration continue, en adoptant des systèmes d'assurance qualité, en utilisant des outils et des méthodes de la qualité dont le but est de construire un produit de bonne qualité.

Le présent travail s'inscrit dans ce cadre, a été réalisé à la laverie MEA, sur « Suivi et contrôle de qualité de la laverie MEA », dont l'objectif était de mettre en place la maîtrise statistique des procédés (MSP) afin de maîtriser l'ensemble des facteurs composants le procédé de traitement de phosphate de la laverie MEA, afin d'améliorer la performance qualité de la ligne HG, puis le suivi et le pilotage des procédés en faisant appel aux cartes de contrôle.

Ce rapport qui présente les principaux résultats sera structuré comme suite. Dans un premier temps nous avons vérifié la normalité de distribution, qui signifie que les causes de variations du résultat sont suffisamment maîtrisées, puis nous avons implanté des outils statistiques pour piloter et contrôler le procédé dans les limites fixées par les spécifications. Par la suite on a calculé la capabilité du procédé et variabilité du système de mesure à partir de construction de cartes de contrôle.

Les résultats obtenus ont montré que :

- Le procédé de traitement de phosphate de la laverie MEA est hors contrôle, instable et incapable.
- Afin d'améliorer cette situation, nous faisons appel au diagramme Cause-Effet, pour chercher l'origine de la fluctuation de la teneur en BPL, nous avons pu détecter que le problème est lié généralement à la granulométrie au sein de l'usine de traitement.

Mots clés : -Cp : l'indice de capabilité procédé

-Cpk: l'indice de dérèglement.

