

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

Application de la démarche Six Sigma à la réduction de la variabilité de la qualité de produit NPK(14.18.18) de ligne 107B l'OCP

Présenté par:

Nabil BELKASMI

Encadré par:

- Mr. M. CHERIFI (OCP Jorf-Lasfar)
- Pr. EL EL GHADRAOUI (FST Fès)
- Pr .M.NAWDALI (FST Fès)

Soutenu Le 19 Juin 2019 devant le jury composé de:

- Pr.M.CHAOUQI(FST Fès)
- Pr.M.NAWDALI (FSP Taza)
- Pr.EL. EL GHADRAOUI (FST Fès)
- Pr.A . EL GHAZOUALI (FST Fès)

Stage effectué à : l'OCP Jorf-Lasfar El-Jadida



Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzer – FES

☎ 212 5 35 60 80 14 ; Fax : 212 5 35 60 82 14

Dédicaces

A Dieu

A Allah, le clément et miséricordieux, pour la force qu'il me donne, et qu'il donne aux personnes qui m'ont aidées et soutenues.

Dieu merci pour tout ce qui arrive dans notre vie.

A mes chers parents

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts, les sacrifices et les prières que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants.

A ma sœur et mes frères

Qui m'ont toujours aidée et soutenue comme preuve d'amour et de fraternité éternelle. Auxquels j'espère une vie pleine de réussite et de bonheur.

A mes amis

Anas, EL MRIEJ, Youssef, Ahmad, Afaf, Zakaria, EL GHARAD, Bilal et EL BELGHITI Pour les agréables moments que nous avons partagé.

Veillez accepter l'expression de ma profonde gratitude pour votre soutien, encouragements, et affection.

J'espère que vous retrouvez dans la dédicace de ce travail, le témoignage de mes sentiments sincères et de mes vœux de santé et de bonheur.

A tous mes enseignants

A tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui m'ont soutenu de loin ou de près

REMERCIEMENTS

Les remerciements sont marqués de politesse incontournable mais insuffisante pour témoigner notre gratitude envers ceux qui nous ont soutenus.

Après nos louanges à Dieu, nous présentons nos sincères remerciements à notre parrain de stage Mr. Mouad CHRIFI, Ingénieur Process production des engrais, d'avoir accepté, d'aussi bonne grâce, d'encadrer ce présent projet, et aussi pour la qualité de son encadrement, ses précieux conseils, ses encouragements, ses fructueuses orientations et son soutien tout au long du déroulement de ce stage qui nous ont permis, grâce au sujet que nous avons développé, d'enrichir nos connaissances théoriques et pratiques.

Nos meilleurs remerciements s'adressent à Pr.El houssine El GHADRAOUI et Pr. M.NAWDALI mes encadrants à FST-Fès pour leur encadrement, leurs précieux conseils, leur soutien, leur encouragement, leurs fructueuses orientations et leur précieuse aide dans l'accomplissement de notre projet.

Notre profonde gratitude s'adresse également à toute l'équipe de l'atelier des fertilisants de Maroc Phosphore III et IV, service de production, pour leur accueil, leurs aides, leurs conseils et leurs écoutes, en particulier M. HARCHAOUI, M. DOURI, M.JARFI, M. MACHHOUD et M.NAJI

Nos vifs remerciements vont aussi à tout le personnel de service de secrétariat en particulier M.ELHANNI et M.SLIMANI, pour leurs aides et les nombreuses informations précieuses. Nous tenons à remercier tout le personnel de service de laboratoire de chimie plus particulièrement M.NAJMI et M.LMISSI, pour leurs collaborations, leurs disponibilités et leurs directives toujours constructives.

Nous tenons aussi à remercier cordialement tout le corps professoral et administratif de notre école pour leur soutien tout au long de notre formation.

Nos vifs remerciements vont également les professeurs membres du jury Mr.M.CHAOUQI, Mr.El.houssine .El GHADRAOUI et Mr.NWADALI , Mr .EL.GHAZOUALI qui ont bien accepté d'évaluer ce projet de fin d'études.

Enfin, merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet. A tous... merci.

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

I. Titre: Application de la démarche Six Sigma à la réduction de la variabilité de la qualité de produit NPK (14.18.18) de la ligne 107B l'OCF

Résumé

Notre projet de fin d'études proposé par la Direction de production des engrais, s'inscrit dans le but de réduire la variabilité des paramètres physico-chimiques de la qualité des engrais NPK (14.18.18), et de trouver des solutions pour ce problème dans les nouvelles lignes et plus précisément la ligne 107B à Maroc phosphore II & IV, site Jorf Lasfar.

Il convient de signaler que la démarche Six Sigma est un moyen essentiel dans l'industrie. Les paramètres que nous avons étudié à au cours de ce stage de fin d'étude sont : Le titre : de P_2O_5 SE+SC, de N_2 , de K_2O et la granulométrie qui doit être comprise dans le domaine [2-4] mm.. L'étude expérimentale et les résultats obtenus ont montré l'amélioration des paramètres de la qualité des engrais NPK (14, 18, 18).

Mots clés: Engrais NPK, granulométrie, titres, Six Sigma, DMAIC, Plans d'expériences.

Abstract

As part of the end-of-studies project proposed by the Directorate of Fertilizer Production, the new more precise lines line 107 B at Maroc Phosphore III & IV Jorf Lasfar site, fits our work which aims to reduce the variability of physico-chemical parameters of the quality of NPK fertilizers (14, 18, 18), and find solutions against this problem.

It should be noted that the Six Sigma approach is an essential means in the industry. The experimental study and the results obtained showed the improvement of the quality parameters of the NPK fertilizers (14, 18, 18).

Key words: NPK, granulometric, titles, six sigma, DMAIC, plans of experiences

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche Signalétique de l'OCP	5
Tableau 2 : QQQQCP.....	23
Tableau 3 : Critical To Quality.....	23
Tableau 4 : Diagramme SIPOC du procédé de fabrication des engrais.	24
Tableau 5 : Diagramme SIPOC du procédé de production de liquide de lavage.	25
Tableau 6 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de N ₂ du NPK.....	32
Tableau 7 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de P ₂ O ₅ du NPK.	32
Tableau 8 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de K ₂ O du NPK.	32
Tableau 9 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de la granulométrie [2-4] mm du NPK.	33

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme général du groupe OCP.....	4
Figure 2 : Filiale et Unités de la production Jorf-Lasfar	6
Figure 3 : Etapes du procédé de fabrication des engrais.	9
Figure 4 : Schéma de pré-neutraliseur.....	10
Figure 5 : Schéma descriptive de granulateur.	11
Figure 6 : composants de sécheur.....	11
Figure 7: Cribles de classification	12
Figure 8 : Système lavage des gazes	Erreur ! Signet non défini. 4
Figure 9 : Schéma descriptif de l'ajoute de potasse.	18
Figure10 : Distribution normale.	198
Figure 11 : Réduire la variabilité.....	20
Figure 12 : les cinq étapes DMAIC de la marche six Sigma.....	19
Figure 13 : Evolution du titre en P ₂ O ₅ SE+SC du NPK Pendant l'année 2018.....	270
Figure 14 : Evolution du titre en Azote du NPK Pendant l'année 2018	271
Figure 15 : Evolution du titre en K ₂ O du NPK pendant l'année 2018.	287
Figure 16 : Evolution de la granulométrie [2-4] mm du NPK Pendant l'année 2018.....	27
Figure 17 : l'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de K ₂ O.	28
Figure 18 : L'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de P ₂ O ₅	28
Figure 19 : L'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de l'azote N ₂	29
Figure 20 : l'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de Granulométrie [2-4].	35
Figure 21 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de l'azote N ₂	356
Figure 22 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de K ₂ O..	36
Figure 23 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de P ₂ O ₅ .	36
Figure 24 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de Granulométrie [2-4].....	369
Figure 25 : Diagramme d'ISHIKAWA de la variation de la qualité NPK (%N ₂ ,%P ₂ O ₅ , K ₂ O). ...	39
Figure 26: Diagramme d'ISHIKAWA de la Granulométrie.	40
Figure 27 : Graphe des effets moyens de N ₂ (l'azote).....	434
Figure 28 : graphe des effets moyens de P ₂ O ₅	44
Figure 29 : Graphe des effets moyens de K ₂ O	44
Figure 30 : Graphe des effets moyens de Granulométrie [2-4].	458

Figure 31 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour l'ammoniac.....	48
Figure 32 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour P ₂ O ₅	49
Figure 33 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour K ₂ O.....	49
Figure 34 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour granulométrie [2-4].....	501
Figure 35 : logigramme d'action corrective pour l'azote.....	51
Figure 36 : logigramme d'action corrective pour P ₂ O ₅	51
Figure 37 : logigramme d'action corrective pour K ₂ O.....	52
Figure 38 : logigramme d'action corrective pour la granulométrie [2-4].....	52
Figure 39 : carte de contrôle de moyenne et d'étendue pour l'azote.....	56
Figure 40 : Carte de suivi pour %N.....	566
Figure 41 : Carte de contrôle de moyenne et d'étendue pour P ₂ O ₅	57
Figure 42 : Carte de Contrôle de moyenne et d'étendue pour K ₂ O.....	577
Figure 43 : carte de contrôle de la moyenne et d'étendue de granulométrie [2-4].....	58

Abréviation

OCP : Office Chérifien des Phosphates

EMAPHOS: Euro Maroc Phosphore

IMACID: Indo Maroc Phosphore

DAP: Di ammonium Phosphate

MAP: Mono ammonium Phosphate

NPK : Mélange d'éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium)

TSP : Triple super phosphate

ASP : Ammoniaque superphosphate

PN : Préneutraliseur

AM03 : Granulateur

AM02 : Réacteur tubulaire

RTG : Réacteur tubulaire de granulateur

RM : Rapport molaire

RM SAG : rapport molaire sortie granulateur

AF02 : Chambre de combustion

TS : Taux solide

MSP : maitrise statistique des procédés

Cp : l'indice de dispersion

Cpk : l'indice de capabilité

ACP : Acide phosphorique

LPEE : Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes

Vap.MP : Vapeur moyenne pression

07A, 07B ,07C, 07D : lignes de production des engrais

KP01, AP01 : Pompe

S11, S12, S13 : Cyclones

D01, D02, D03 : laveurs Venturi

AT02 : bande de recyclage

AF01 : Tube Sécheur

AT01, AT04 : Elévateurs

AC01, AC02, AC06, AC05, AC04 : Ventilateurs

AH01 : Séparateur Principale

S01, S02, S03, S04 : Cribles Primaires à deux tamis

S05, S06, S07, S08 : cribles simples

S09, S10 : Tamis finisseurs

B01, B02, B03, B04 : broyeurs à chaine

H01.....H019 : volets

AT07 : bande de produit fini

P2O₅^{SE+SC} : Anhydre phosphorique soluble citrate et soluble d'eau

SIPOC : Supplier, Input, Process, Output, Customer.

Sommaire

Introduction generale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil

I	Groupe OCP	3
	I-1. Organigramme de l'OCP.....	4
	I-2. Fiche signalétique de l'OCP.....	4
II	. Présentation du Complexe Industriel de Jorf Lasfar.....	5
III.	Activités industrielles du complexe chimiques de Jorf Lasfar	5

Chapitre 2: Procédé de fabrication des engrais

I.	Généralités sur les engrais.....	6
	I-1.Principaux éléments constituant les engrais.....	6
	I-2. Terminologie et types des engrais.....	7
II.	Description de production des engrais.....	8
	II.1 Pré-neutraliseur(PN).....	9
	II.2 Granulation	10
	II.3 Séchage.....	11
	II.4 Classification	11
	II.5 Le conditionnement du Produit.....	12
	II.5.1. Le refroidissement.....	12
	II.5.2 l'enrobage.....	13
	II.6 Assainissement et la collecte des gaz.....	13
	II.7 Lavage des gaz.....	13

Chapitre 3: Réduction de la variabilité du NPK par

Démarche six-sigma

Introduction.....	17
--------------------------	-----------

I.	Produit NPK	17
I-1.	Présentation.....	17
I-2.	Signification de la mention NPK.....	17
I-3.	Procédé de fabrication du NPK.....	18
II.	Six Sigma, un outil de la performance	18
II.1	Historique de Six Sigma.....	18
II.2	Origine de l'appellation.....	19
II.3	L'objectif de Six Sigma.....	19
II.4	Six sigma et la variabilité.....	20
III.	Six Sigma : une méthode de maîtrise de la variabilité par démarche DMAIC	20
III.1	La démarche DMAIC.....	20
IV.	Application de la démarche Six Sigma à la réduction de la variabilité du NPK	21
IV.1	Introduction de la démarche Six Sigma Pour la variabilité de NPK.....	21
IV.2	Etape de définir et cadrage du problème	22
IV.2.1	la méthode de QQQQCP.....	22
IV.2.2	/le diagramme CTQ.....	23
IV.2.3	Diagramme SIPOC.....	24
IV.3.	Etape de Mesure	26
IV.3. 1	Représentation graphique des données	26
IV.3 .1.1.	Suivi de l'évolution de la teneur en P2O5 SE+SC.....	26
IV.3.1.2	Suivi de l'évolution de la teneur en azote	27
IV.3.1.3	Suivi de l'évolution de la teneur en K2O.....	28
IV.3.1.4	Suivi de l'évolution de la granulométrie.....	28
IV.3.2	Mesure et analyse de la variabilité du système de mesure	29
IV.3.2.1	Etude de système du mesure.....	30
IV.3.2.2	Constitution du panel de test.....	31
IV.3.2.3	Réalisation des mesures du panel.....	31
IV.3.2.4	Les résultats et les interprétations.....	32
IV.3.3	Calcul de la capabilité du procédé	33
IV.3.3.1	Tableau des données.....	33

IV.3.3.2	Normalité des données.....	34
IV.3.3.3	Etude de capabilité du procédé.....	35
a.	Outils graphique (histogramme).....	35
b.	les indice de Capabilité.....	37
IV.4.	Etape Analyse.....	38
IV.4.1	Le diagramme de cause à effet ou d'Ishikawa.....	38
IV.4.1.1	diagramme d'Ishikawa de la variation des teneurs de NPK.....	39
IV.4.1.2.	diagramme d'Ishikawa de la Granulométrie.....	40
IV.4.2	plans d'expériences.....	40
IV.4.2.1.	Introduction	41
IV.4.2.2	L'intérêt des plans d'expériences.....	41
IV.4.2.3.	Définition d'un plan d'expériences.....	41
IV 4.2.4	Présentation de l'étude.....	41
IV.4.2.4.1	Définir le Problème.....	41
IV.4.2 4.2	Déterminer l'objectif.....	41
IV.4.2 .4.3	Définir les paramètres d'entrée (Facteurs).....	41
IV.4.2.4. 4	Définir les Sortie (Réponse).....	42
IV.4.2.5	Choix de la stratégie.....	42
IV.4.2 5.1.	Plan de Criblage	42
IV.4.2.5.2	Plan factoriel	42
IV.4.2.5.3	Plan de surface	42
IV.4.2.5.4	Criblage des facteurs.....	42
IV.4.2.6	Facteurs-Modalités -Domaine Experimental	42
IV.4.2.6.1	Analyse graphique des Résultats	43
IV.5.	Etape Améliorer.....	45
IV.5.1	Optimisation-Plans de surface de réponse	45
IV.5.2	les facteurs et les niveaux.....	45
IV.5.3	Réponses pour le plan d'optimisation.....	46
IV.5.4	Modèle empirique.....	46
VI.5.5	Estimation des Coefficients différentes modelés liés aux différentes.....	

Réponses.....	46
IV.5.6 Choix de plans d'expériences.....	48
IV.5.6.1 Plans de surface de réponses	48
IV.5.6.1.1 Surface de réponses	48
IV.5.6.1.2 Courbe Iso-réponse.....	48
IV.5.7 Analyse graphique des Résultats.....	48
IV.5.8 Logigramme.....	50
IV.5.8.1 Définition	50
IV.5.8.2 Objectif.....	50
IV.5.8.3 Les logigrammes d'actions correctives des variables du	
NPK (14.18.18).....	51
IV.5.9 Bilan de matière de l'unité de production d'engrais.....	54
IV.6. Etape Contrôler.....	54
IV.6.1 Carte de Contrôle	54
IV.6.1.1 Carte de contrôle de la moyenne \bar{X}	55
IV.6.1.2 Carte de Contrôle de l'étendue: Carte R.....	55
Conclusion générale.....	59

Introduction générale

Mon stage de fin d'étude pour l'obtention de Master Sciences et Techniques GMP est effectué à l'OCP, Atelier Engrais qui est une société anonyme à caractère industriel et commercial.

Le groupe OCP exploite des techniques plus récentes, plus puissantes en matière d'énergie et lutte contre la pollution.

Le stage a pour objectifs :

- Améliorer les connaissances des stagiaires.
- Assurer l'application pratique et compléter les informations théoriques acquises au sein de la faculté.
- Permettre aux stagiaires de confronter le domaine de travail.
- Connaître les relations qui existent entre les agents et leurs chefs.

L'OCP est une société marocaine, c'est l'une des plus grandes entreprises dans le domaine industriel au niveau mondial, elle a été créée en 1920, cette entreprise connaît des développements importants dans divers secteurs ; de sa création à nos jours, sa force réside dans les énormes échanges commerciaux et les transactions commerciales réalisées avec près de 160 clients à travers 60 pays.

La société OCP travaille sur la consommation des matières premières comme le soufre, ammoniacale, phosphate brute, les éléments fertilisants...etc. Et les transformer en produits finals ou semi finals vendables et utilisables (engrais phosphatés, acide phosphorique...etc.). La qualité des produits et des matériaux nécessaires est quelque chose d'important dans cette entreprise ce qui développe de manière significative et rapide.

Les Engrais source d'éléments nutritifs du sol pour augmenter les rendements des cultures a récemment été l'objet de préoccupations environnementales. L'OCP est parmi les premiers exportateurs mondiaux des engrais solides. La majeure partie de ces engrais le DAP et MAP, sont largement prédominant, est exportés hors du Maroc.

La demande des clients est de plus en plus exigeante en matière de la qualité des engrais et surtout les titrages et la granulométrie du produit fini. En effet, la qualité des titres constitue l'un des principales préoccupations de l'unité de production des engrais. Cette qualité demandée dépend des exigences des clients et une simple perturbation de la marche de production influe sur la qualité du produit fini. Il est donc primordial non seulement de maîtriser

le procédé de fabrication et de tous les intervenants internes et externes sur le procédé de fabrication pour satisfaire ces exigences, mais aussi il est essentiel que les lignes de production travaillent dans des conditions optimales pour une meilleure productivité et rentabilité.

Ce travail s'inscrit dans ce cadre et consiste à réduire la variabilité de la qualité des engrais NPK de la ligne 107 B à l'OCP par la démarche six-sigma pour maîtriser la qualité de produit fini en termes des titrages et la granulométrie.

Ce travail comporte trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre donne une présentation de l'organisme d'accueil.
- Le deuxième chapitre présente une description du procédé de fabrication des engrais.
- Le troisième chapitre concerne la description et l'application de la démarche six-sigma à suivre pour résoudre le problème.

Enfin, nous terminerons notre étude par une conclusion générale.

Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil

I Groupe OCP

L'Office Chérifien des Phosphates (OCP) est un groupe spécialisé dans l'extraction, la valorisation et la commercialisation du phosphate et de ses dérivés.

Principalement utilisé dans la fabrication des engrais, le phosphate provient du sous-sol marocain.

Selon les cas, le minerai subit une ou plusieurs opérations de traitement (criblage, séchage, calcination, flottation, enrichissement à sec). Une fois traité, il est exporté tel quel ou bien livré aux industries chimiques du groupe, à Jorf Lasfar ou à Safi, pour être transformé en produits dérivés (commercialisables : acide phosphorique de base, acide phosphorique purifié, engrais solides (on parle alors de valorisation) [1].

Premier exportateur mondial de phosphate sous toutes ses formes, le Groupe OCP écoule 95% de sa production en dehors des frontières nationales, sur les cinq continents.

Le logo du Groupe OCP symbolise une dent de requin, fossile courant des phosphates marocains. Cette figure est reproduite cinq fois à l'identique rappelant, d'une part, l'étoile du drapeau national et, d'autre part, les cinq continents où se retrouvent les marchandises de l'OCP. L'ensemble est inscrit dans un cercle autour duquel sont disposés deux épis croisés en arc de cercle, symboles de fertilité et de croissance.

- L'activité industrielle des phosphates est répartie en deux catégories :
- L'activité minière qui consiste à l'extraction minière de phosphate et au traitement.
- L'activité chimique qui consiste à la valorisation du phosphate en produisant l'acide phosphorique et les engrais phosphatés.

CHAPITRE I

I-1. Organigramme de l'OCP

ORGANIGRAMME GENERAL

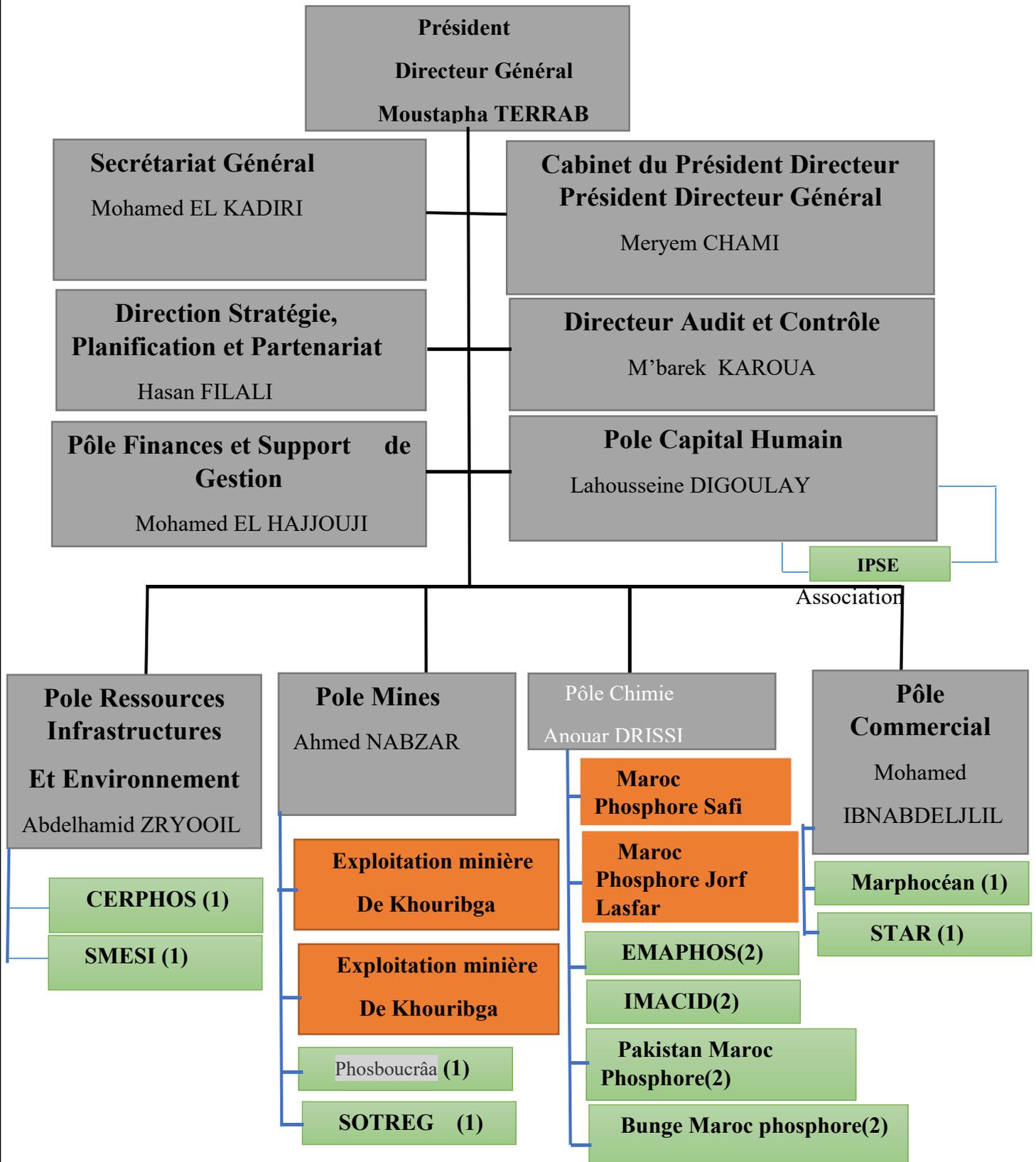


Figure 1 : Organigramme général du groupe OCP

CHAPITRE I

I-2. Fiche signalétique de l'OCP

Dénomination sociale	OCP SA
Siège social	2, Rue Al Abtal, Hay Erraha, Casablanca
Téléphone	05.22.23.00.25
Fax	05.22.22.17.53
Site Internet	www.ocpgroup.ma
Forme juridique	S.A régie par les lois et règlements en vigueur, notamment par le dahir n°1 -96-124 du 14 rabii II 1417 portant promulgations de la loi 17-95 relative aux sociétés anonymes
Durée de vie	La durée de la société est fixée à 99 ans à compter du 1er avril 2008, sauf cas de dissolution anticipée ou prorogation prévue par les statuts ou par la loi
Capital social	8 287 500 000 MAD

Tableau 1 : Fiche Signalétique de l'OCP

II. Présentation du Complexe Industriel de Jorf Lasfar

Situé sur le littoral atlantique, à 20 km au sud-ouest d'El Jadida, le complexe industriel de Jorf Lasfar a démarré sa production en 1986. Cette nouvelle unité a permis au Groupe OCP de doubler sa capacité de valorisation des phosphates. Le site a été choisi pour ses multiples avantages : proximité des zones minières, existence d'un port profond, disponibilité de grandes réserves d'eau et présence de terrains pour les extensions futures. Cet ensemble, qui s'étend sur 1 700 hectares, permet de produire chaque année 2 millions de tonnes de P₂O₅ sous forme d'acide phosphorique, nécessitant la transformation de 7,7 millions de tonnes de phosphate (extrait des gisements de Khouribga),

2 millions de tonnes de soufre et 0,5 million de tonnes d'ammoniac.

Les besoins en énergie du complexe sont satisfaits par une centrale de 111 MW utilisant la chaleur de récupération. Une partie de la production est transformée localement en engrais DAP (Di Ammonium Phosphate), MAP (Mono Ammonium Phosphate), éventuellement NPK (Azote Phosphate Potassium) et TSP (Triple Super Phosphate), ainsi qu'en acide phosphorique purifié. L'autre partie est exportée sous forme d'acide phosphorique marchand via les installations portuaires locales.

III. Activités industrielles du complexe chimiques de Jorf Lasfar

CHAPITRE I

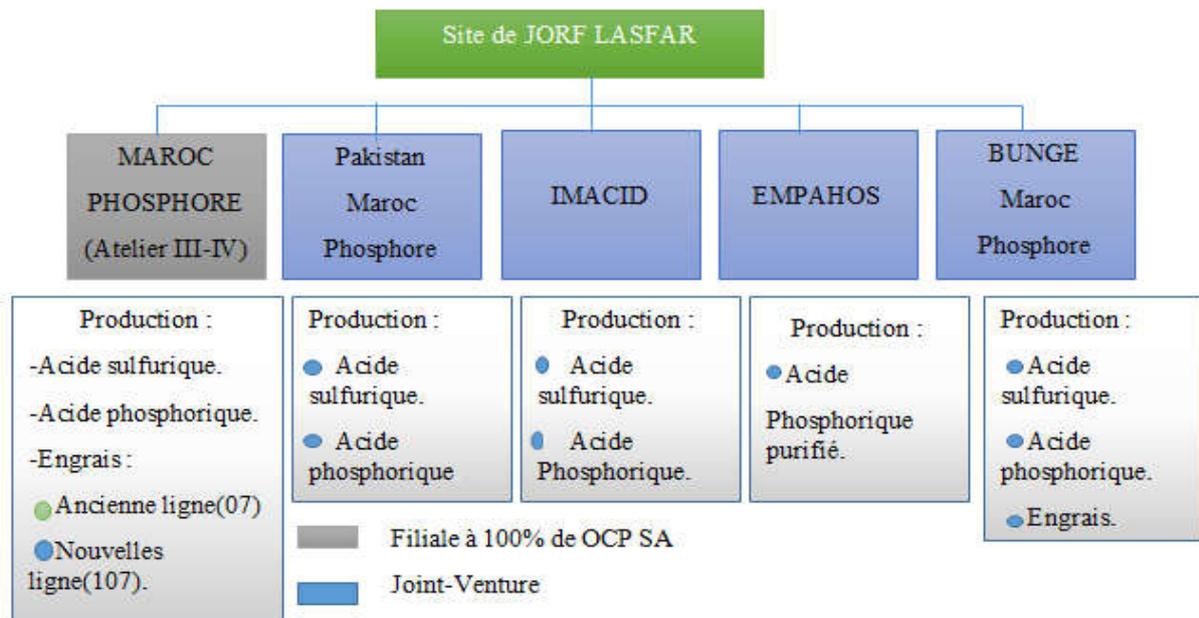


Figure 2 : Filiale et Unités de la production Jorf-Lasfar

Chapitre 2: Procédé de fabrication des engrais

I. Généralités sur les engrais

Les engrais ou les fertilisants minéraux sont des composés chimiques qui ont pour rôle d'apporter aux plantes les éléments nutritifs dont elles ont besoin. Ces éléments peuvent exister naturellement dans le sol ou y sont apportés artificiellement sous forme :

- Stable dans la solution sol : ces engrais sont presque immédiatement utilisés par la plante.
- Des cations ou des anions échangeables, fixés par le complexe adsorbant du sol, ces ions sont progressivement mis à la disposition de la plante.
- Les engrais granulés : sous forme de particules solides de taille comprise entre une limite inférieure et une limite supérieure le plus souvent entre 2 et 4 mm .

I-1. Principaux éléments constituant les engrais

Les différentes classes des éléments nécessaires à la croissance des végétaux sont :

- ❖ **Eléments fertilisants majeurs** : L'azote, le phosphore et le potassium.
 - **Azote** : c'est un élément fondamental pour la matière vivante. c'est l'un des principaux constituants de la chlorophylle.
 - **Phosphore** : c'est un régulateur qui favorise la croissance, le développement des racines, la rigidité des tissus ainsi qu'une grande résistance aux maladies.
 - **Potassium** : c'est un élément essentiel qui participe à la synthèse des protéines .Il accroît la résistance de la plante contre les parasites.
- ❖ **Eléments fertilisants secondaires** : Le calcium, le magnésium, le soufre et le sodium.
 - **Calcium** : la présence de cet élément est indispensable à la nutrition des plantes pour lesquelles il joue deux rôles : rôle de structure et rôle métabolique.
 - **Magnésium** : est un constituant de la chlorophylle qui joue donc un rôle important dans la photosynthèse
 - **Soufre** : entre dans la composition des acides aminés indispensable aux êtres vivants, Il joue un rôle essentiel dans le métabolisme des vitamines.
- ❖ **Oligo-éléments** : Bore, chlore, cuivre, magnésium, molybdène, le zinc. Les oligo-éléments participent à faible dose à la nutrition des végétaux.

Les rôles de ces éléments peuvent être liés comme c'est le cas de l'azote et de la potassium. Il y a une interaction positive entre ces éléments, c'est à dire que l'action de deux éléments à la fois est bien supérieure à la somme des actions de chaque élément utilisé seul.

Ces éléments se trouvent à l'état naturel : phosphates, nitrates, différents sels de potassium, mais ils ne sont généralement pas directement utilisables comme engrais, c'est la raison pour laquelle l'industrie prépare toute une gamme d'engrais chimiques dont la consommation s'accroît d'environ de 10% chaque année [2].

1-2. Terminologie et types des engrais

On distingue deux types des engrais : engrais simples et engrais composés.

- Engrais simples : ce sont des engrais ayant une teneur déclarée en un seul élément fertilisant majeur N, P ou K.
- Engrais composés : ce sont des engrais ayant des teneurs déclarées en au moins deux éléments fertilisants majeurs. Il s'agit des engrais binaires (NP, PK, NK) ou des engrais ternaires (NPK).

Les teneurs des éléments fertilisants des engrais sont exprimées en azote (N), en anhydride phosphorique (P_2O_5) et en oxyde de potassium (K_2O).

Dans le cas des engrais composés, les teneurs exprimés en pourcentage massique dans la formule de l'engrais s'effectuent dans l'ordre : N - P_2O_5 - K_2O .

On peut définir cinq types d'engrais :

- ✓ **TSP** : le triple superphosphate est produit par réaction de l'acide phosphorique avec le phosphate minéral.
- ✓ **ASP** : ammonium sulfate phosphate est très appropriée aussi pour la manufacture des engrais à base d'ammoniaque.
- ✓ **DAP et MAP** : le di-ammonium phosphate et le mono-ammonium phosphate contient les deux éléments nutritifs azote et phosphore. Ils sont complètement solubles dans l'eau et sont à 100% assimilables par les plantes.
- ✓ **NPK** : c'est un mélange d'engrais en proportions appropriées en éléments nutritifs azote, phosphore et potassium.

II. Description de production des engrais

Selon les besoins des plantes au niveau du potassium, de phosphore et d'azote, du à sa nature, ou bien le manque du sol de l'un de ces élément, on a pensé à fabriquer des engrais rassemblant tous éléments avec des pourcentages bien précis pour améliorer la rentabilité et le rendement de l'agriculture [3].

Ces engrais azotés sont réalisés à l'aide d'une neutralisation de l'acide phosphorique par l'ammoniac ce qui donne lieu à une réaction de neutralisation exothermique.

L'instabilité du phosphate tri-ammoniaque $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ dans les conditions de fabrication amène à limiter la neutralisation par un contrôle analytique du rapport molaire :

$$\text{RM} = \frac{\text{Nombre de moles de NH}_3}{\text{Nombre de moles de H}_3\text{PO}_4}$$

Ce procédé consiste à effectuer la neutralisation en deux grandes étapes :

-Une pré- neutralisation de l'acide phosphorique par NH_3 jusqu'à un $\text{RM} = 1,4$ pour le DAP, 0,6 pour MAP ce qui correspond à une fluidité maximale de la bouillie et des pertes moindre en ammoniac par tension de vapeur. Cette première étape s'effectue dans un réacteur préneutraliseur PN agité de volume 80m^3 .

-Une ammonisation complémentaire jusqu'à obtention d'un $\text{RM} = 1,8$ pour DAP, et 0,8 pour MAP réalisé dans un tambour de granulation appelé granulater, ce qui favorise la cristallisation.

La fabrication du NPK et du DAP et du MAP selon le procédé « JACOBS » comporte six Étapes principales :

- ❖ Les réactions d'ammonisation.
- ❖ La granulation.
- ❖ Le séchage.
- ❖ La classification granulométrique.
- ❖ Le conditionnement du produit.
- ❖ Assainissement et lavage des gaz.

Les matières premières de fabrication des engrais :

- Acide phosphorique (H_3PO_4 54% -Aide phosphorique 29% - Fuel
- Acide sulfurique (H_2SO_4) -Ammoniaque gaz (NH_3) -Eau –liquide lavage

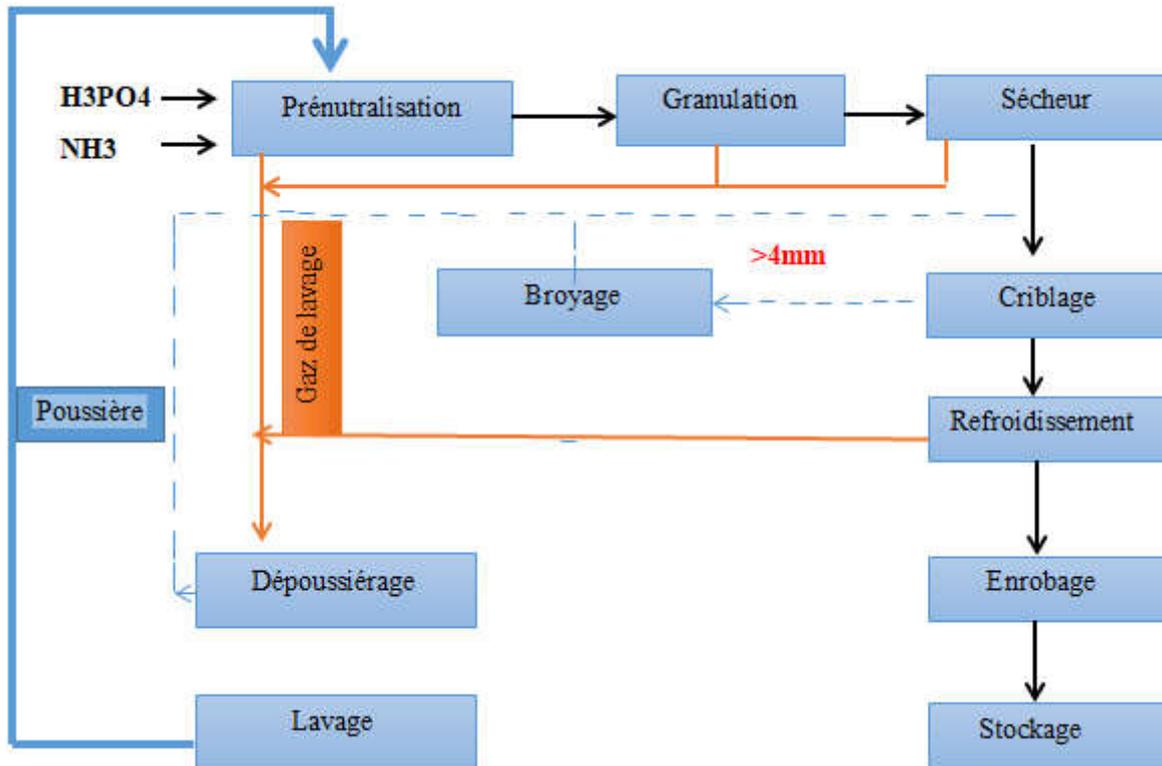
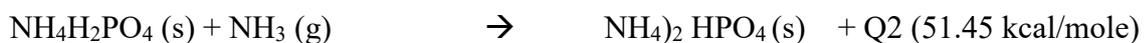


Figure 3 : Etapes du procédé de fabrication des engrais.

II-1. Pré-neutraliseur (PN) :

Le principe de la fabrication consiste à produire un mélange de phosphate d'ammonium et sulfophosphate d'ammonium par neutralisation des acides phosphorique et sulfurique par l'ammoniac suivant les réactions.

- Neutralisation de l'acide phosphorique :



Le rapport molaire, pour cette 1^{ère} ammonisation, doit être d'environ 0,6 pour le MAP et NPK et de 1,4 pour le DAP.

- Neutralisation de l'acide sulfurique



L'acide sulfurique ajouté à ce mélange réagira avec l'ammoniac pour former les sulfates d'ammonium. Etant un acide plus fort que l'acide phosphorique, l'acide sulfurique a une plus grande affinité pour réagir avec l'ammoniac pour ajuster la qualité du produit, il fait baisser le pourcentage du P₂O₅ du produit fini. On ajoute l'acide phosphorique 29% pour régler la densité de la bouillie.

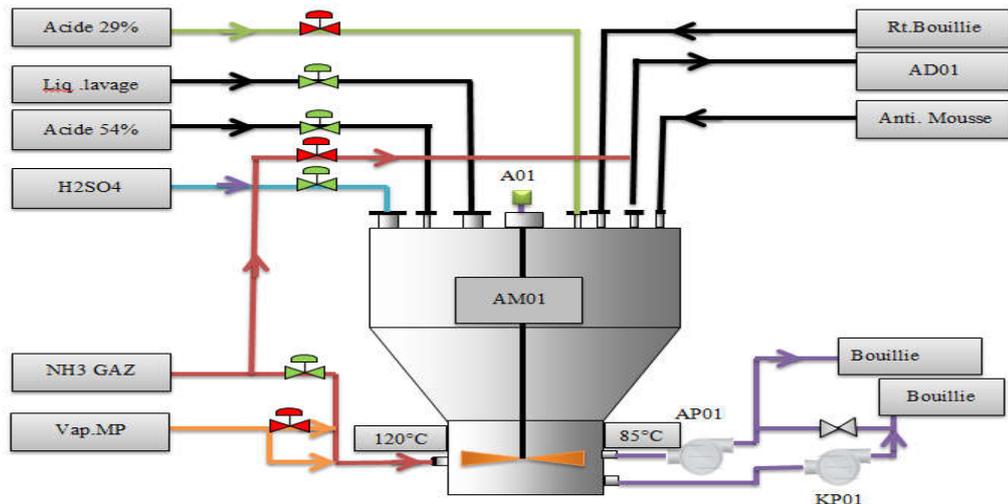


Figure 4 : Schéma de pré-neutraliseur

II-2. Granulation :

La granulation se déroule dans un tambour rotatif, incliné de $3,57^\circ$ pour faciliter le transfert de la charge circulante, reposant sur 4 galets et possédant une roue dentée entraînée par un moteur réducteur.

L'opération de granulation consiste à transformer la bouillie venant du préneutraliseur en un produit granulé de dimensions bien déterminées.

A l'aide d'un réacteur tubulaire de granulateur la bouillie est pulvérisée moyennant des buses de pulvérisation sur un lit de matière sèche recyclée, le mouvement de rotation du granulateur permet une distribution uniformément sur la surface des granulés et produit une couche de granulés durs et bien arrondis.

Au niveau du granulateur, a lieu une seconde neutralisation de l'acide phosphorique contenu dans la bouillie moyennant une rampe tenue par des bras pour ramener son rapport molaire de 1,4 à 1,8 pour le DAP et de 0,6 à 0,8 pour le MAP et 1.3 pour NPK afin de favoriser la cristallisation de la bouillie.

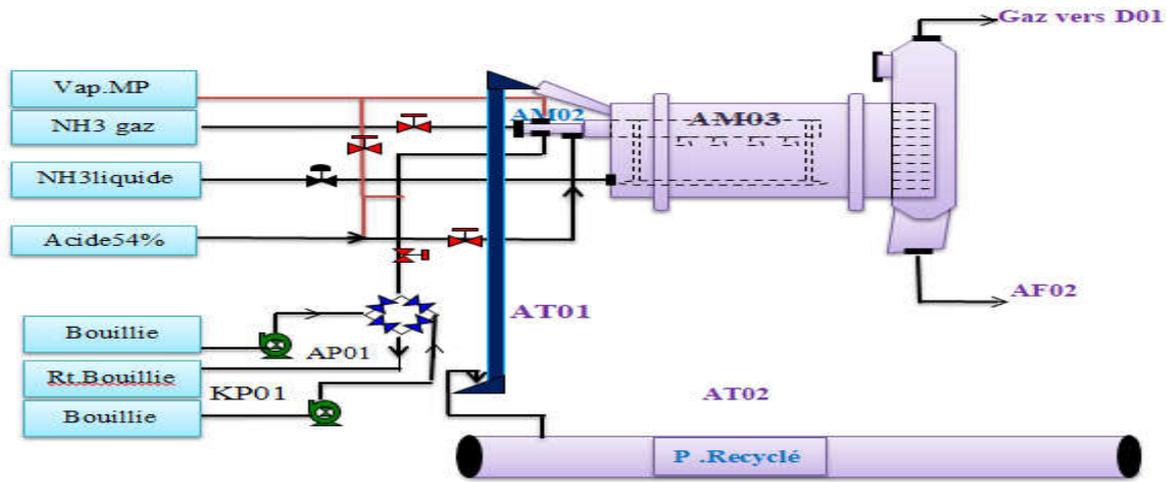


Figure 5 : Schéma descriptive de granulateur.

II-3. Séchage :

L'opération de séchage consiste à débarrasser le produit d'une partie de son eau, afin d'éviter les phénomènes de colmatage des appareils de broyage, criblage et conditionnement ainsi que la prise en masse au cours du stockage de l'engrais.

Cette opération permet d'abaisser le pourcentage d'eau des granulés de 3-4 % à 1,0-1,5 %.

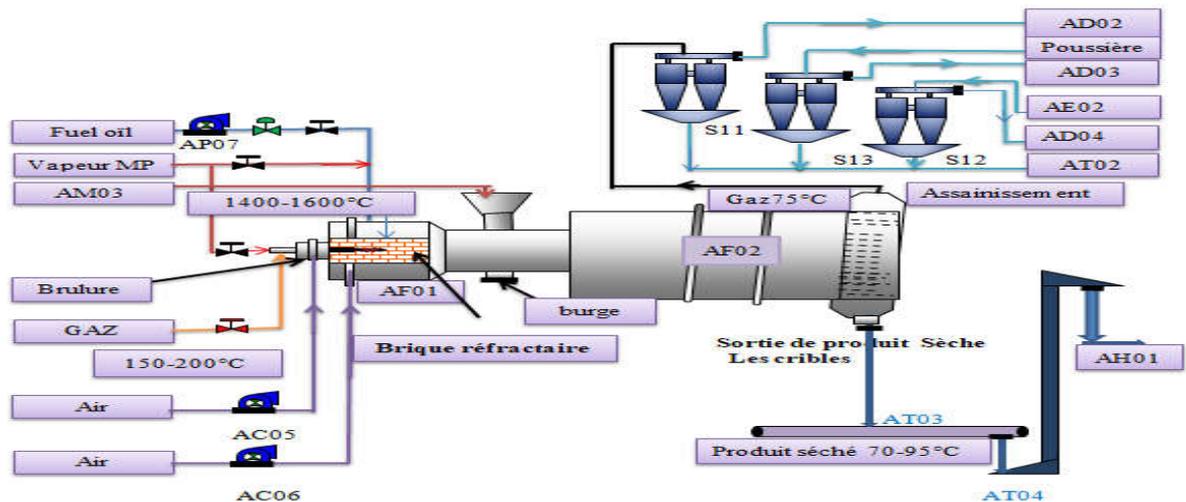


Figure 6 : composants de sécheur

II-4. Classification :

La séparation granulométrique de l'engrais permet de fabriquer un produit marchant à la granulométrie requise entre 2 et 4 mm et d'extraire le produit de recyclage qui alimente le granulateur.

De ce fait l'unité de production est équipée de 4 cribles à étages S01, S02, S03 et S04, 4 cribles un simple étage S05, S06, S07 et S08, muni chacun de 4 moteurs vibrants ainsi que 4 broyeurs pour broyer les sur granulés (pour les quatre doubles crible à double étage). Pour

CHAPITRE II

améliorer l'efficacité du criblage, chaque crible de finisseur S09, S10 est équipé d'un distributeur vibrant T 33, T34, en assurant une répartition du produit sur toute la largeur du crible.

Après l'alimentation du convoyeur T06, ce dernier alimente à son tour et travers des boîtes de volets de répartitions, qui répartissent les produits sur toute la largeur des cribles. Les fines de criblage sont acheminées directement vers la bande de recyclage T02 ainsi que les gros gains refusés par la toile supérieure des cribles sont acheminé vers des broyeurs à chaîne B01, B02, B03 et B04 pour rejoindre aussi la bande de recyclage T02

Une partie des fines de chaque crible de séparation est mélangée avec une partie du produit qui alimente les quatre Cribles de Produit (107AH10 / H11 / H12 / H13). Ce système est basé sur le principe qu'une partie du recyclage est formée par le produit de taille adéquate. Ceci est convenable pour le lit du granulateur pour atteindre une fluidité appropriée qui augmente le taux de sortie.

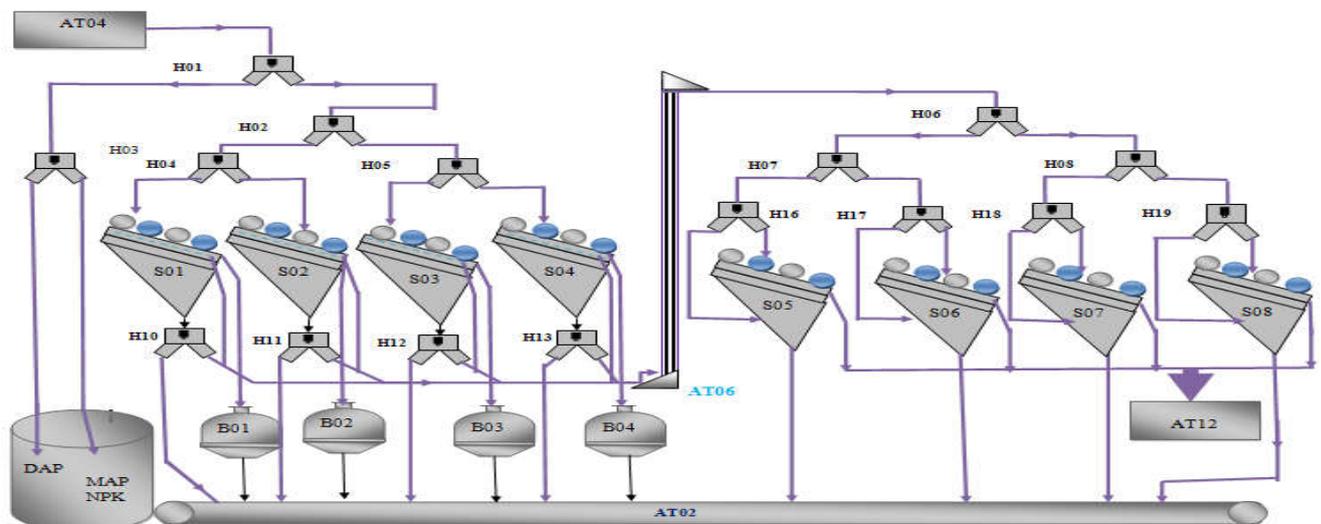


Figure 9 : Cribles de classifications.

II-5. Le conditionnement du produit :

II.5.1. Le refroidissement :

Le rôle du refroidisseur est de refroidir les granules à une température d'environ 40 °C. Ceci permet d'éviter la formation de condensation lors du stockage des granules et donc de diminuer les risques de collage des granules. Ce refroidissement est réalisé par fluidisation avec de l'air.

II.5.2. L'enrobage :

Le produit marchand est enrobé par pulvérisation du fuel ou de l'huile aminée afin d'éviter la prise en masse, la formation des poussières et l'absorption de l'humidité lors du stockage.

Le produit sortant de l'Enrobeur est évacué vers une bande de produit fini AT07 laquelle alimente quatre installations du stockage à l'aide d'une série de convoyeurs à bande

II-6. Assainissement et la collecte des gaz :

L'air contenant des poussières résultantes de sécheur et de Refroidisseur et de la manutention du produit au niveau des cribles, des broyeurs, des bandes, des élévateurs, etc. ... est aspiré par trois ventilateurs C01 et C02, C04 pour l'acheminer respectivement vers les cyclones AS11 et AS12 et AS13 où on récupère la majeure partie de ces poussières. Après le cyclonage l'air circule par suite vers les laveurs venturi D01, D02 et D03 où on élimine les traces de poussières s'échappant par de l'eau brute. Les eaux de lavage résultant de cette opération sont ensuite recyclées vers la section de lavage.

II-7 Lavage des Gaz

II-7. Lavage des Gaz :

a. Liquide de lavage

L'eau est largement utilisée en tant que solution de lavage lorsque les composés à éliminer sont solubles ou dissociables dans l'eau, comme par exemple pour éliminer l'ammoniac, les amines, les alcools...

Cependant, l'absorption à l'eau seule nécessite une très grande quantité de liquide ; c'est pourquoi un réactif chimique est très souvent ajouté afin d'éliminer les composés odorants et par conséquent d'améliorer le transfert de matière.

Le liquide lavage c'est un sort de mélange entre deux acides (acide sulfurique ; acide phosphorique) et eau brute qui permet d'accélérer les transformations selon des réactions acido-basiques

b. Pré-laveur D01

Le pré-laveur (D01) c'est le premier laveur des gaz qui récupère l'air chargé de l'ammoniac du préneutraliseur et des poussières de granulateur où la plupart de l'ammoniac est enlevé par la réaction avec l'acide phosphorique dans le liquide de lavage.

c. Laveur Sécheur D02

CHAPITRE II

Les gaz venant de sécheur et de pré-laveur sont acheminée vers le laveur sécheur qui récupère les gaz non déchargée dont le premier laveur et les gaz du tube sécheur ; chargée de poussière échappée dans le sécheur.

d. Laveur de poussière et fumée D03

Le laveur de poussière D03 récupère les gaz de l'assainissement général venant de système de cyclonage AS13 et les gaz du pré laveur.

Les gaz et la poussière sont aspirés par un ventilateur et lavés à nouveau dans le laveur D03 pour assurer l'enlèvement maximum de poussières et les matières volatiles, notamment l'ammoniac, l'acide fluorhydrique selon un système à double lavage.

e. Laveur D04

Laveur D04 c'est un laveur final qui sert à laver de nouveau tous les gaz échappés de pré-laveur ; laveur poussières et sécheur.

Les gaz sont coulés vers laveur final (D04), où il subit un lavage en eau brute et l'acide sulfurique avant leur évacuation à l'atmosphère.

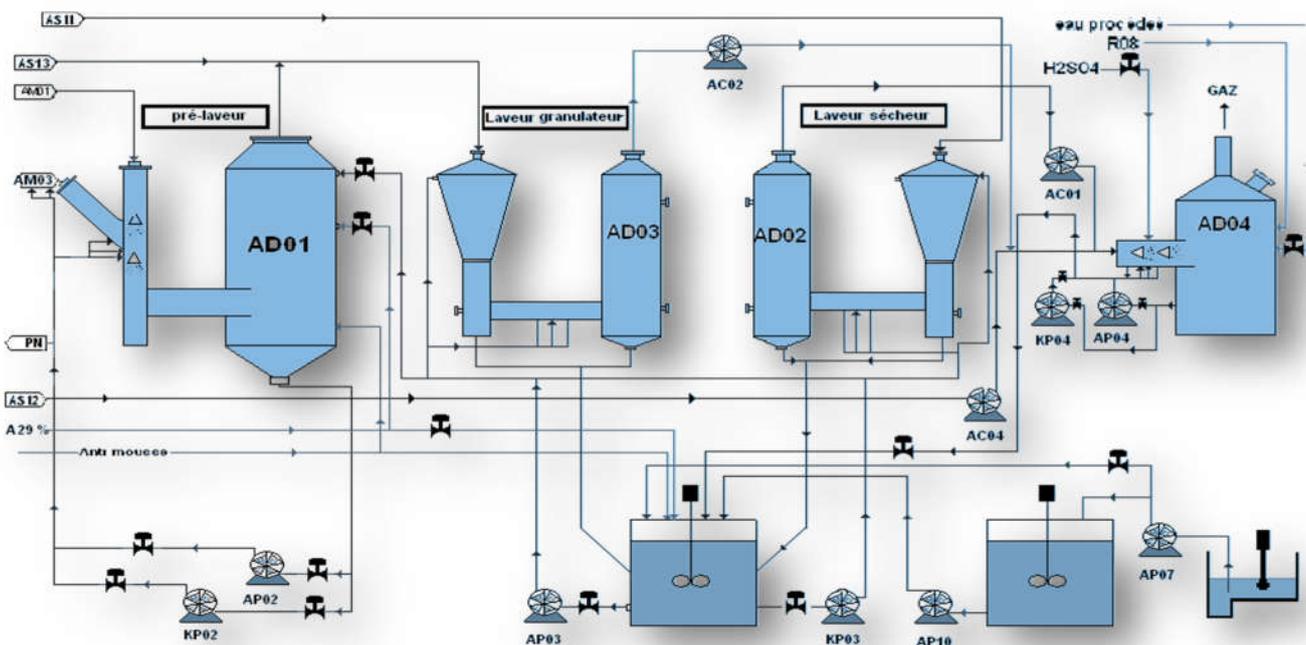


Figure 10 : Système lavage des gazes.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les étapes principales du processus de production des engrais. Le chapitre suivant sera consacré à la maîtrise de la variabilité de la qualité des engrais NPK.

Chapitre 3: Réduction de la variabilité du NPK par Démarche six-sigma

Introduction :

Parmi les nombreux outils et démarches possibles en matière d'amélioration continue, la démarche Six-Sigma est un concept récent et novateur, qui allie l'augmentation de la vitesse des processus et l'amélioration de la qualité des produits. Dans notre travail on va utiliser cette démarche pour maîtriser la qualité d'engrais NPK.

I. Produit NPK

I-1. Présentation

La formule NPK procure les nutriments primaires nécessaires aux sols et aux cultures. Obtenus par procédé chimique, c'est un engrais complet qui permet d'augmenter les rendements agricoles. L'OCP a la flexibilité de produire différentes formulations selon la demande. Cet engrais est recommandé pour les cultures de coton dans certains pays.

Les engrais NPK représentent une formule classique de fertilisant qui correspond à l'abréviation des éléments chimiques qui les composent, à savoir l'azote, phosphore et le potassium.

- L'azote (N) favorise surtout la poussée des parties vertes de la plante (tiges et feuilles), leur précocité et leur développement.
- Le phosphore (P) joue sur la formation des fleurs et des graines et sur le développement racinaire. Il renforce la résistance naturelle des plantes aux agressions quelles qu'elles soient.
- Le potassium (K) permet la floraison et le développement des fruits et de tous les organes de réserve tels que les racines et les tubercules.

I-2. Signification de la mention NPK

Selon les végétaux et les utilisations, la composition des engrais doit respecter certaines proportions d'azote, de phosphore et de potassium afin d'assurer la meilleure action fertilisante.

Selon le principe d'une codification internationale, les emballages des engrais vendus dans le commerce comportent la mention NPK suivie de trois chiffres.

Le produit auquel on s'intéresse dans notre étude est : NPK (14.18.18). Il indique un engrais contenant 14 % d'azote, 18 % de phosphore et 18 % de potassium.

I-3. Procédé de fabrication du NPK

Le cas de des qualités NPK (14%.18%.18%) :

Pour la production de la qualité NPK, le procédé de fabrication présente une différence par rapport au procédé de base qui nous donne le DAP et le MAP. Cette différence se manifeste au niveau de la granulation ; en effet l'ajout de Chlorure de potassium sous forme de poudre est effectué en envoyant le KCl mélangé avec le produit recyclé dans la même bande, une fois dans le granulateur de KCl s'ajoute au grain par un mécanisme d'agglomération. La quantité de la potasse dans le grain est calculée par le pourcentage de K_2O .

Produit recyclé

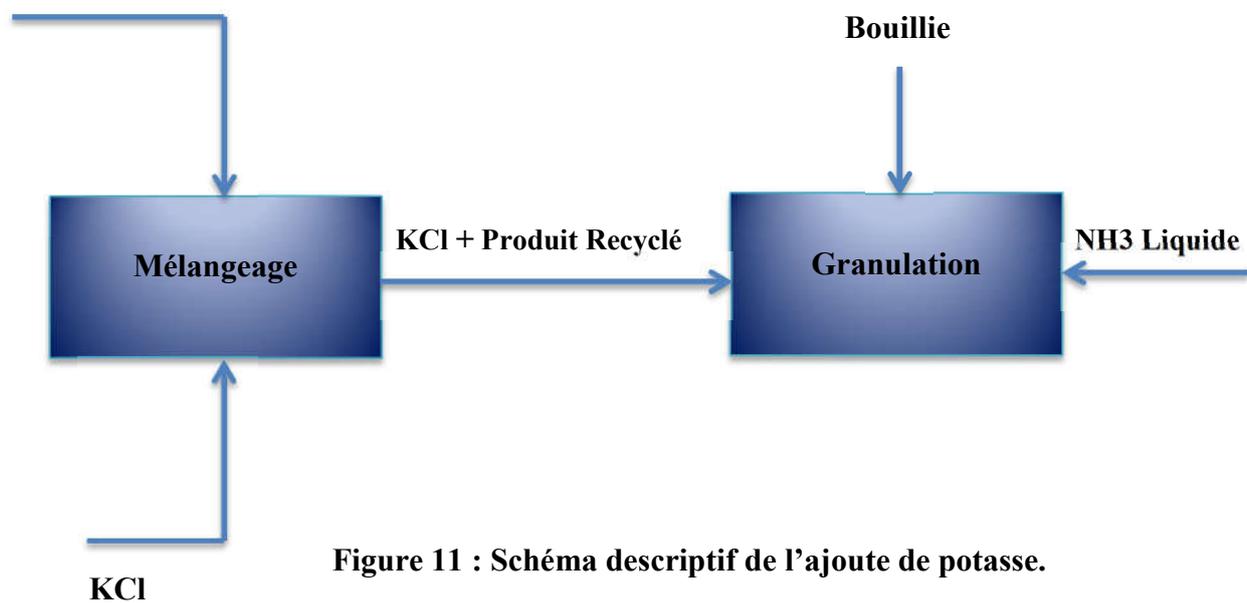


Figure 11 : Schéma descriptif de l'ajoute de potasse.

II. Six Sigma, un outil de la performance

Six Sigma est une stratégie qui s'adapte naturellement aux secteurs dont le fonctionnement est basé sur le mode « Processus », notamment le secteur industriel. La méthode Six Sigma permet, par la mesure et l'analyse des causes de dérive du processus, de fiabiliser l'organisation d'une entreprise et de mieux répondre aux besoins du client final [5].

II-1. Histoire de Six Sigma

Initié aux Etats-Unis dans les années 1980 chez Motorola, les bases de la démarche Six Sigma ont été posées par l'extension de l'usage des concepts de la Maîtrise Statistique de Processus (MSP) et s'est ensuite élargie en intégrant tous les aspects de la maîtrise de la variabilité.

CHAPITRE III

La méthode Six Sigma devient célèbre dans les années 1990 lorsque General Electric décide de l'appliquer et de l'améliorer. Dans les années 1996-98, Six Sigma s'est diffusée par la suite dans les autres entreprises : Nokia, Sony, Toshiba, Ford Motors, Whirlpool, etc. [5].

Aujourd'hui, au Maroc, Six Sigma est appliquée dans l'industrie pharmaceutique chez Pfizer et GSK. Elle commence à trouver sa place dans les autres entreprises notamment chez la Royal Air Maroc (La RAM).

II-2. Origine de l'appellation

En statistique, la lettre sigma σ désigne l'écart type, dont la formule est la suivante :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Six Sigma (6σ) signifie donc six fois l'écart type. Prenons l'exemple d'une distribution normale.

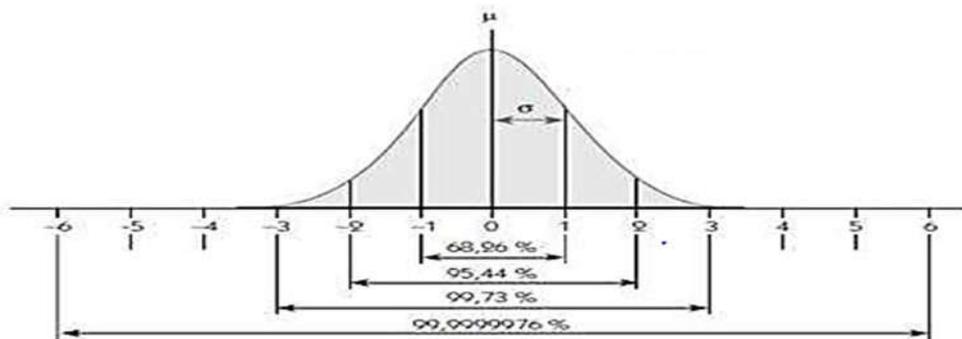


Figure 7 : Distribution normale.

Le principe de la méthode consiste à faire en sorte que tous les éléments issus du processus étudié, soient compris dans un intervalle s'éloignant au maximum de 6σ par rapport à la moyenne générale des éléments issus de ce processus.

En réduisant la variabilité des produits du processus, on réduit le risque de voir le produit rejeté par son destinataire car en dehors de ses attentes ou spécifications.

II-3. L'objectif de Six Sigma

Six Sigma est certainement l'approche qui a le plus modifié le comportement qualité des entreprises ces dernières années. C'est aujourd'hui une approche globale de l'amélioration de la qualité et la satisfaction des clients.

La démarche Six Sigma a pour objectifs :

CHAPITRE III

- La résolution de problème pour réduire la variabilité.
- La mesure de performance de la qualité.
- La satisfaction du client en ayant des processus sans défaut.

II-4. Six Sigma et la variabilité

La notion de qualité est étroitement liée à celle de la variabilité. Or la lutte contre la variabilité est un des concepts de base de Six Sigma. Toute variabilité importante qui affecte la conformité d'un produit ou d'un composant doit alimenter les deux moteurs du progrès de l'entreprise : l'amélioration continue et l'amélioration par percée.

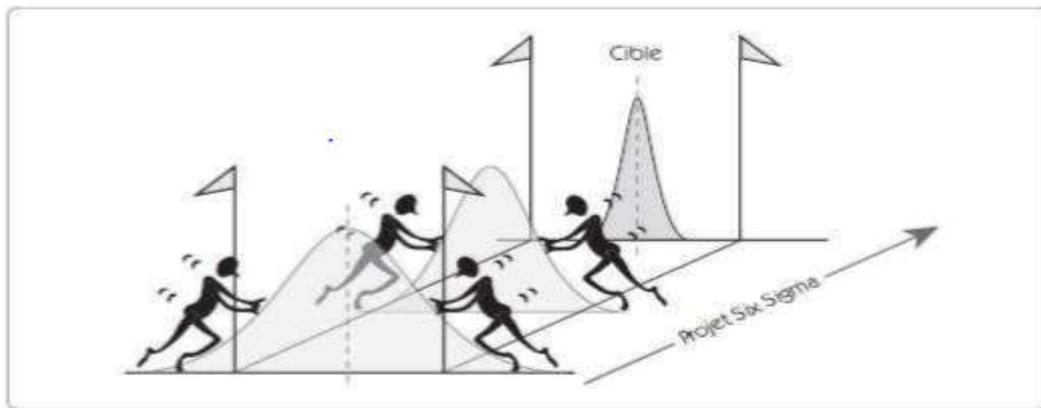


Figure 13 : Réduire la variabilité.

III. Six Sigma : une méthode de maîtrise de la variabilité par démarche DMAIC

La démarche DMAIC, qui constitue le moteur de Six Sigma, fournit le guide méthodologique permettant de trouver le chemin de la réduction de variabilité. Mais cette démarche ne peut fournir de résultat que si elle est utilisée par des personnes compétentes. C'est la raison pour laquelle on devra associer la mise en place de la démarche DMAIC avec une solide formation des hommes et une gestion efficace des compétences.

Pour obtenir les niveaux de capacités exigés par Six Sigma, il est absolument nécessaire d'utiliser des outils et plus particulièrement des outils qualité et statistiques. Dans l'approche Six Sigma, tous les outils utilisés sont connus, il n'y en a pas de nouveaux.

III-1. La démarche DMAIC

Six Sigma se décline en 5 étapes DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Innover/Améliorer et Contrôler) :

CHAPITRE III

- Définir : La première étape d'une démarche DMAIC va consister à parfaitement définir le cadre du projet et le problème de l'entreprise. Les outils principaux sont : Diagramme CTQ, SIPOC et la méthode QOQCP.
- Mesurer : on collecte des données mesurables et on mesure les variabilités de différentes sources. Les outils principaux sont : Boîte à moustache, maîtrise statistique des procédés (MSP), répétabilité et reproductibilité.
- Analyser : on analyse les données, on établit les relations entre les variables d'entrée et sortie du processus et on identifie les variables clés du processus. Les outils principaux sont : 5M, 5P et statistique descriptive, Plans des expériences.
- Innover/Améliorer : on liste toutes les solutions possibles aux causes retenues, on choisit les solutions les plus pertinentes et on teste les améliorations des outils principaux sont : brainstorming, vote pondéré et organigramme, surface de réponse.
- Contrôler : on met sous contrôle la solution retenue et on formalise le processus. Les outils principaux sont : maîtrise statistique des procédés (MSP).

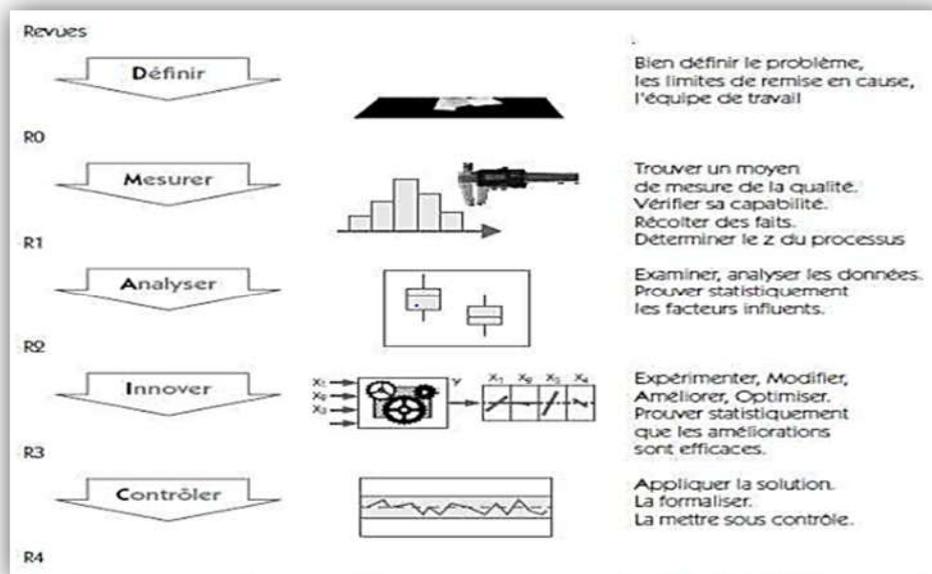


Figure 14 : les cinq étapes DMAIC de la marche six Sigma.

IV. Application de la démarche Six Sigma à la réduction de la variabilité du NPK

IV-1. Introduction de la démarche Six Sigma pour la variabilité de NPK (14.18.18):

Dans l'OCP et plus précisément dans l'atelier des engrais qui produit différents types d'engrais tel que le NPK, produit très important vu que les exigences de sa clientèle : 18% P2O5

SE + SC, 14%N, 18%K₂O ainsi que 90% des granules doivent avoir une taille 2 mm < taille < 4 mm et 96% des granules doivent avoir une taille 1 mm < taille < 4 mm.

Notre projet a été réalisé dans l'atelier des engrais avec l'objectif de réduire la variabilité de la qualité du NPK. Pour cela nous avons utilisé la démarche Six Sigma comprenant les 5 étapes DMAIC.

Le DMAIC se compose d'un ensemble d'outils successifs, qui permettent de passer d'une problématique complexe présentant des variables non maîtrisées à une amélioration et une maîtrise du processus. Cette méthodologie est adaptée au projet d'amélioration des performances des processus de fabrication et la qualité du produit NPK au niveau des flux de matière qu'au niveau de la productivité car les paramètres de la qualité du NPK sont des paramètres de suivi facilement mesurables. Ils permettront d'identifier les causes de variations, de les évaluer et de mettre en place les actions les plus appropriées pour les limiter. La finalité du projet est de réduire la variabilité de la qualité du NPK afin de renforcer la confiance du client.

IV-2. Etape de définir et cadrage du problème

Dans la première étape d'une démarche DMAIC on va cadrer les problèmes et d'obtenir les informations essentielles de la bonne compréhension de notre projet, en utilisant la méthode QQQQCP, le diagramme CTQ et SIPOC.

IV-2-1. La méthode QQQQCP

La méthode QQQQCP (Qui fait Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ?) est une méthode d'analyse formelle, critique et constructive basée sur le questionnement qui :

- Facilite la collecte quasi exhaustive et rigoureuse d'informations pour une situation donnée.
- Permet de présenter l'exposé des faits et de leurs causes de façon structurée.
- Aide à mesurer rapidement le niveau de connaissance que l'on dispose sur la situation

En résumé, le but de la méthode QQQQCP est d'obtenir un ensemble d'informations pour comprendre quelles sont les raisons ou les causes principales d'une situation ; d'identifier clairement et de manière structurée les aspects à traiter ou à améliorer.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

CHAPITRE III

Tableau 2 : QQQQCP

Qui ? Qui est concerné par le problème ?	Les responsables de l'atelier d'engrais 107 B.
Quoi ? C'est quoi le problème ?	La variation des paramètres physico - chimique d'engrais NPK (granulométrie et titres)
Où ? Où apparait le problème ?	Au niveau des sorties du procédé de fabrication d'engrais.
Quand ? Quand apparait le problème ?	L'apparition du problème est peut être liée à la variabilité d'entrée ou bien la variabilité des paramètres de marche.
Comment ? Comment mesurer le problème et ses solutions ?	Analyse granulométrique, teneur des composantes.
Pourquoi ? Pourquoi il faut résoudre ce problème ?	Eviter les réclamations des clients.

IV-2.2 Le diagramme CTQ

Le diagramme CTQ (Critical To Quality) a pour objectif de décomposer le besoin du client (ce qui l'amène à utiliser le produit ou le service) en exigences (qualité, coût, délais) qui doivent pouvoir être mises en phase de caractéristiques que l'on sait évaluer par une mesure.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Tableau 3 : Critical To Quality.

	Besoin	Exigences	Caractéristiques	Spécifications
Le client	Engrais NPK		% P ₂ O ₅ SE+SC	18 %
		Caractéristiques chimique et physique	% N	14 %
			% K ₂ O	18 %
			Taux d'humidité (%)	1,3 max
			Granulométrie tranche [2 ;4]	90% min
			Granulométrie tranche [1 ;4]	96% min

IV.2.3. Le Diagramme SIPOC

Un diagramme SIPOC qui est un outil très adapté à cette cartographie est le diagramme (Suppliers, Input, Process, Output, Customers) qui permet de faire apparaître les flux matières et les flux d'informations sur un même graphique.

Il convient donc de représenter sur le diagramme SIPOC les éléments suivants :

- **Le fournisseur (Supplier)** : Fournisseur du processus qui peut être interne ou externe à l'entreprise.
- **Les entrées (Inputs)** : Entrées du Processus (informations, matières premières, équipes, etc.).
- **Le processus (Process)** : Le flux dans sa globalité.
- **Les livrables (Outputs)** : Sorties du Processus (Produits, Informations, Services, etc.).
- **Le client (Customer)** : Client du processus. Il ne s'agit pas forcément du client final d'un produit.

Le tableau suivant résume le procédé de fabrication des engrais :

Tableau 4 : Diagramme SIPOC du procédé de fabrication des engrais.

S (Suppliers)	I (Input)	P (Process)	O (Output)	C (Customers)
Réservoirs d'ammoniac	Ammoniac gaz (NH ₃).	Neutralisation des acides phosphorique et sulfurique par l'ammoniac.	La bouillie.	Granulateur.
Réservoirs de liquide de lavage	Liquide de lavage			
Atelier phosphorique	Acide phosphorique 29% et 54% en P ₂ O ₅			
Atelier sulfurique.	Acide sulfurique 98,5% (H ₂ SO ₄)			
Réservoirs d'ammoniac	Ammoniac liquide	Transformations de la bouillie + produit de recyclage en granules	Produit granulé	Sécheur
Pré-neutraliseur	La bouillie			

CHAPITRE III

Réservoirs d'éléments fertilisants	L'élément fertilisant			
Cribles + broyeurs.	Produit de recyclage			
Réservoirs de fuel	Fuel	Abaissement de pourcentage d'eau des granules.	Produit granulé et séché.	Cribles + broyeurs
Réservoirs de gaz	Gaz			
Ventilateur	Air			
Granulateur	Produit granulé			
Sécheur	Produit granulé et séché.	La séparation granulométrique, broyé les grosses particules et recyclées les fines.	Produit marchant à la granulométrie requise entre (2 – 4) mm et produit de recyclage.	Granulateur et refroidisseur + enrobeur.
Les cribles + broyeurs	Produit marchant	Refroidissement des granules à une température d'environ 40 C° et formation d'une mince couche de poussière d'enrobage.	Produit fini	Halls de stockage (hangars)
Ventilateur	Air			
Réservoirs de fuel et réservoirs de l'amine	Enrobant (fuel et amine)			

Tableau 5 : Diagramme SIPOC du procédé de production de liquide de lavage.

Le tableau suivant résume le procédé de production de liquide de lavage :

S (Suppliers)	I (Input)	P (Process)	O (Output)	C (Customers)
Ventilateur C02	Gaz de pré-neutraliseur et granulateur	Lavage par l'acide H ₃ PO ₄ 29% en P ₂ O ₅ (Laveur DO1).	Liquide de lavage	pré-neutraliseur
			Gazes non lavées	Laveur DO3
Cyclone AS11	Gaz de sécheur	Lavage par l'acide H ₃ PO ₄ 29% en P ₂ O ₅ (Laveur DO2).	Liquide de lavage	Réservoirs R02
			Gaz non lavées	Laveur DO4

CHAPITRE III

Cyclone AS13	Gaz de cribles, élévateurs et convoyeurs.	Lavage par l'acide H_3PO_4 29% en P_2O_5 (Laveur DO3).	Liquide de lavage	Réservoirs R02
Laveur DO1	Gaz non lavées		Gaz non lavées	Laveur DO4
Cyclone AS12	Gaz de refroidissement	Lavage par l'acide H_3PO_4 29% en P_2O_5 (Laveur DO4).	Liquide de lavage	Réservoirs R02
Laveur DO2	Gaz non lavées		Gaz non lavées	Atmosphère ATM
Laveur DO3	Gaz non lavées			

IV-3. Etape de Mesure

Durant cette étape, on va collecter les données mesurables de l'année 2018 (titres et granulométrie) et on mesure les variabilités de différentes sources : la variabilité du procédé et de système de mesure. Les outils principaux sont : Boite à moustache, maîtrise statistique des procédés (MSP), répétabilité et reproductibilité.

IV.3.1. Représentation graphique des données

La représentation graphique des données est un premier niveau d'interprétation. Lorsqu'on dispose simplement d'un tableau de relevés, il est très difficile de se faire une idée de la répartition de ces données. Dans cette partie on va s'intéresser à un type de graphe souvent utilisé : la boîte à moustache (Box Plot).

Une boîte à moustaches ou en abrégé Box Plot est une représentation graphique de quelques paramètres de distribution d'une variable, inventée par Tukey en 1977. C'est une représentation graphique d'une variable quantitative qui permet d'appréhender la dispersion d'un échantillon.

La boîte à moustaches utilise généralement 5 valeurs qui résument des données :

- Les 3 quartiles Q1 (25% des valeurs), Q2 la médiane (50% des valeurs), Q3 (75% des valeurs).
- Le minimum et le maximum.

IV.3.1.1 Suivi de l'évolution de la teneur en P_2O_5 SE+SC :

Le graphe illustre le suivi du titre en P_2O_5 du NPK au cours de l'année 2018 :

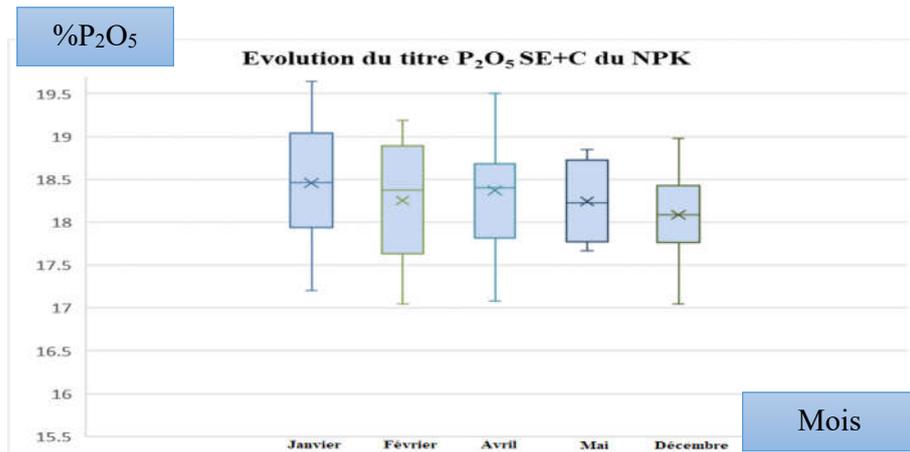


Figure 15 : Evolution du titre en P₂O₅ SE+SC du NPK Pendant l'année 2018

Interprétation :

Les boites n'ont pas la même taille donc la variance n'est pas constante. En se basant sur la valeur de l'étendue interquartile, le mois de février ayant une étendue interquartile grand il présente la plus grande variabilité, par contre la plus faible variabilité correspond au mois de décembre affichant la moindre valeur de l'étendue interquartile. La variation de la teneur en P₂O₅ du NPK montre qu'elle dépasse le minimum exigé par le client 18%. Pour le client, elle constitue un gain, pour l'entreprise elle constitue une perte. La maîtrise parfaite des titres en P₂O₅ doit être une priorité au niveau de la production.

IV.3.1.2 Suivi de l'évolution de la teneur en azote :

Le graphe suivant représente l'évolution de la teneur en azote (N) au cours de l'année 2018 :

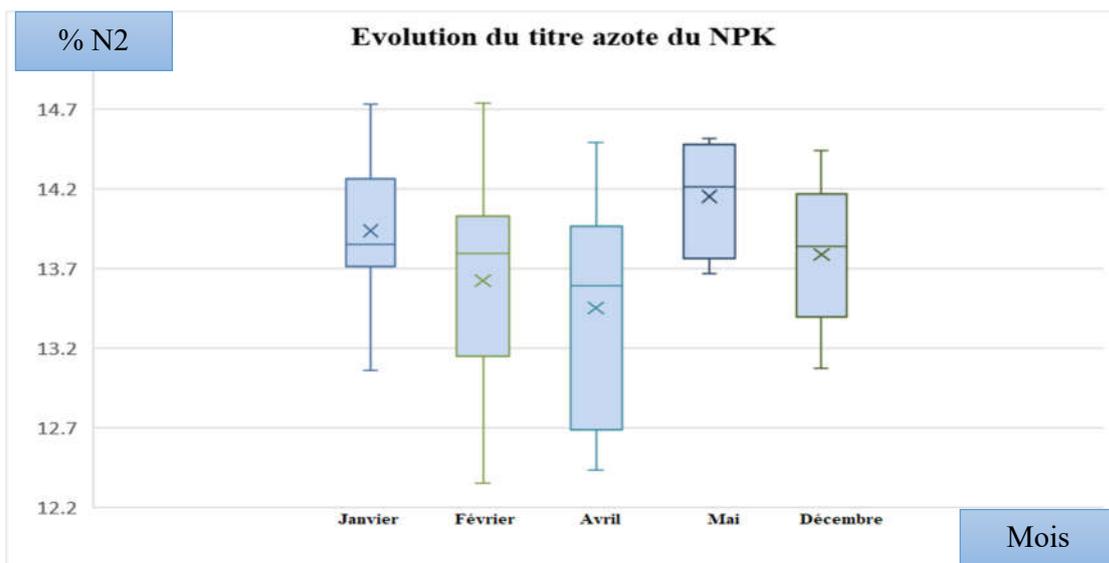


Figure 16 : Evolution du titre en Azote du NPK Pendant l'année 2018

CHAPITRE III

Interprétation :

L'observation de la représentation des tailles de boîtes montre la non uniformité de la variance. Le mois d'avril ayant une étendue interquartile grand il présente la plus grande variabilité. La teneur en azote joue autour de l'exigence du client fixée à 14 % en azote.

IV.3.1.3 Suivi de l'évolution de la teneur en K_2O .

Le graphe suivant représente l'évolution de la teneur en K_2O au cours de l'année 2018 :

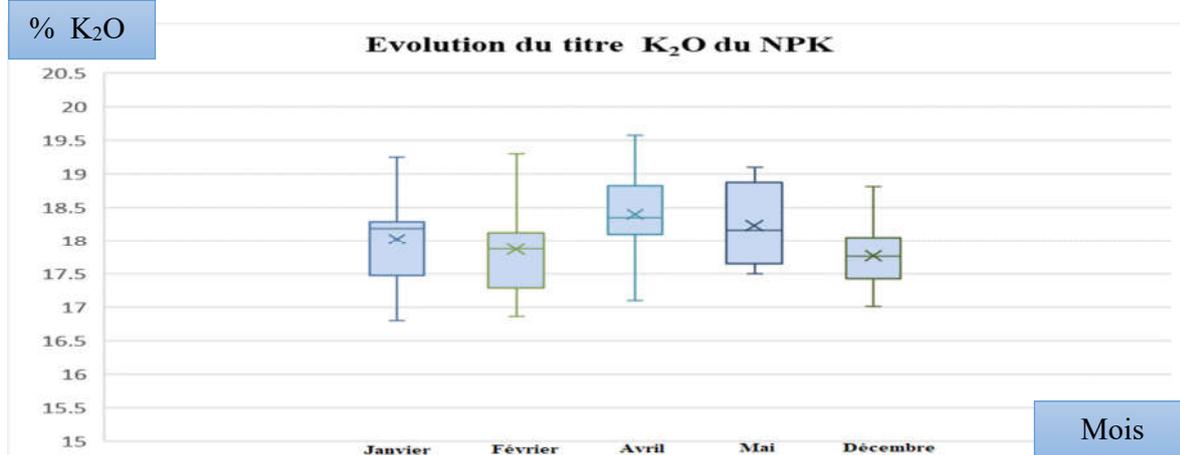


Figure 17 : Evolution du titre en K_2O du NPK pendant l'année 2018.

Interprétation :

Dans ce graphe ci-dessus montre une variance non constante issue de la différence entre les tailles des boîtes. Les 5 mois ayant une étendue interquartile faible il présente la plus faible variabilité. La teneur en potassium dépasse l'exigence du client fixée à 18 % en potassium, ce qui génère une perte pour l'entreprise vu que, le potasse est une matière première exportée et qui coûte chère à l'entreprise.

IV.3.1.4 Suivi de l'évolution de la granulométrie

La courbe d'évolution de la granulométrie [2-4] mm du NPK pendant l'année 2018 :

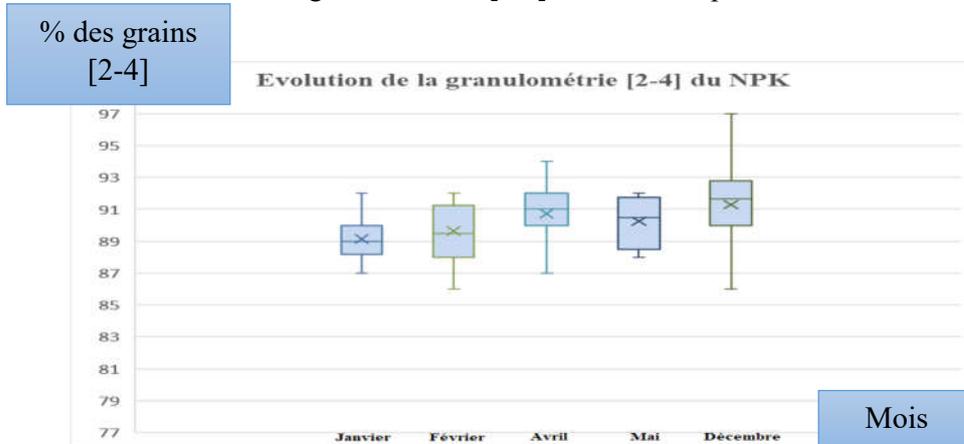


Figure 88 : Evolution de la granulométrie [2-4] mm du NPK Pendant l'année 2018.

Interprétation :

Le suivi de l'évolution de la granulométrie [2-4] mm montre que le produit fini présente des propriétés granulométriques moins variantes et proche de l'exigence du client fixée à 90 %.

La courbe d'évolution de la granulométrie [1-4] mm du NPK pendant l'année 2018 :

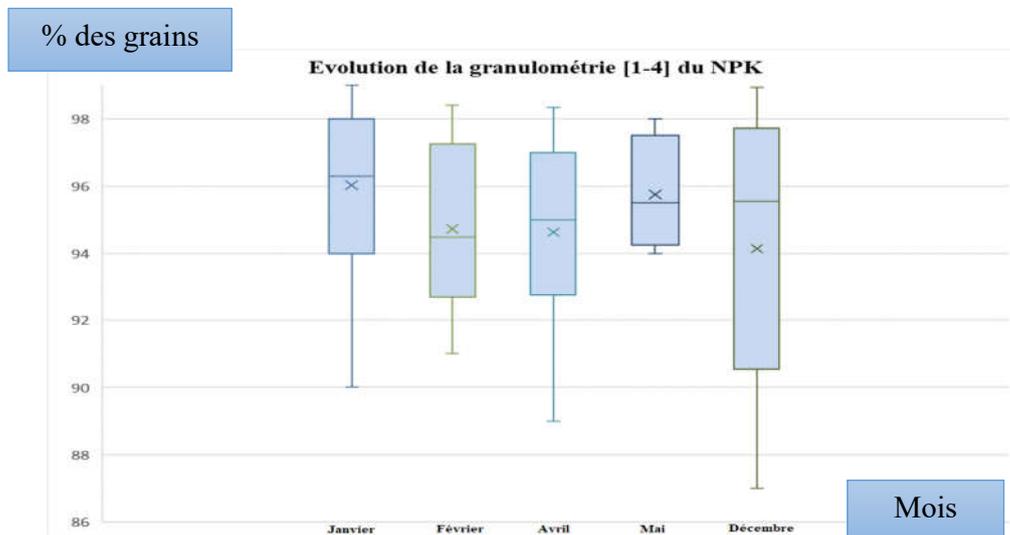


Figure 19: Evolution de la granulométrie [1-4] mm du NPK pendant l'année 2018.

Interprétation :

A partir de la représentation graphique de la granulométrie [1-4] mm ci-dessus, on constate que le produit fini possède des propriétés granulométriques variantes et légèrement au-dessous de l'exigence du client fixée à 96 %.

Conclusion :

Les résultats montrent que les valeurs des titres suivants : % N₂, % P₂O₅ SE+SC, % K₂O et la granulométrie sont légèrement proches de l'objectif fixé par le département de production.

IV.3.2. Mesure et analyse de la variabilité du système de mesure

Afin de calculer la variabilité d'un système de mesure et bien de séparer la répétabilité, la reproductibilité et la variation liée à la pièce on utilise la méthode R&R.

Pour quantifier la répétabilité et de la reproductibilité en utilisant la méthode des étendues et des moyennes, plusieurs pièces, un moyen de mesure, des opérateurs et des mesurages sont nécessaires.

On a plusieurs paramètres à analyser, la discussion avec l'encadrant nous a facilité de sélectionner quatre paramètres du NPK sont N, P₂O₅, K₂O et la granulométrie [2-4] mm pour analyser la variabilité du système de mesure.

Les analyses sur N P₂O₅, K₂O et la granulométrie [2-4] mm sont effectuées au Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE).

IV.3.2.1 Etude de système de la mesure

La Répétabilité

Selon la norme ISO 5725/86 c'est l'écart de l'accord entre les résultats d'analyse indépendants entre eux obtenus avec la méthode considérée, dans le même laboratoire, avec le même opérateur utilisant le même matériel, dans un court intervalle de temps [8].

La répétabilité EV du système de mesure est donnée par la formule :

$$\text{Répétabilité} = \frac{5.15 \times \bar{R}}{d_2}$$

\bar{R} : La moyenne de toutes les étendues des opérateurs sur l'ensemble des pièces.

d_2 : La constante choisie dans le tableau (annexe1) avec **Z** qui est obtenu en multipliant le nombre de pièces **n** par le nombre d'opérateurs et **W** le nombre d'essais.

5.15 correspond au nombre d'écart-types pour obtenir 99% de probabilité.

La Reproductibilité

Conditions où les résultats d'essai sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essais identiques dans différents laboratoires, avec différents opérateurs, utilisant des équipements différents.

La reproductibilité AV du système de mesure est donnée par la formule :

$$\text{Reproductibilité} = \sqrt{\left(\frac{5.15 \times \bar{X}_{\text{étendue}}}{d_2} \right)^2 - \frac{\text{Répétabilité}^2}{n \times r}}$$

$\bar{X}_{\text{étendue}}$: La moyenne de la différence des mesures moyennes entre l'opérateur ayant les mesures les plus élevées et l'opérateur ayant les mesures les plus faibles pour tous les opérateurs et sur l'ensemble des pièces. Avec **n** le nombre de pièces et **r** le nombre d'essais.

d_2 : La constante choisie dans le tableau (annexe1) avec **Z** égale à 1 et **W** le nombre d'essais.

La répétabilité et reproductibilité

La répétabilité et reproductibilité sont données par la formule R&R

$$R \& R = \sqrt{\text{Reproductibilité}^2 + \text{Répétabilité}^2}$$

La variation pièce

La variabilité liée à la pièce est donnée par la formule :

$$V_p = \frac{5.15 \times R_p}{d_2}$$

R_p : la différence entre la mesure moyenne de la plus grande des pièces et la mesure moyenne de la plus petite des pièces entre chaque opérateur.

d_2 : la constante dans le tableau (annexe 6) avec Z égale à 1 et W le nombre d'essais.

La variabilité totale

La variabilité totale est donnée par la combinaison quadratique de la variabilité du système de mesure et de la pièce

$$V_T = \sqrt{R \& R^2 + V_p^2}$$

Les différentes contributions en pourcentage se calculent par les relations suivantes

$$\% EV = \frac{\text{Répétabilité}}{VT} \times 100$$

$$\% AV = \frac{\text{Reproductibilité}}{VT} \times 100$$

$$\% R \& R = \frac{R \& R}{VT} \times 100$$

$$\% V_p = \frac{V_p}{VT} \times 100$$

IV.3.2.2 .Constitution du panel de test

Pour mesurer et analyser les sources de variabilité d'un système de mesure, nous allons mettre en place des mesures spécifiques avec :

- P produits : P = 6 échantillons
- Chaque opérateur va répéter ses mesures M fois sur les mêmes produits : M = 3
- Op opérateurs qui vont reproduire les mesures sur les mêmes P produits : Op = 3

$P \times M \times Op = 54$ va représenter le nombre total des mesures.

Puisque : $40 \leq P \times M \times Op \leq 90$

Donc le nombre total est acceptable.

IV.3.2.3. Réalisation des mesures du panel

CHAPITRE III

Nous mesurons chaque échantillon 3 fois par chaque opérateur, sans préparation spécifique, les tableaux (Voire les Annexe : 7,8, 9,10) suivants représentent les résultats de l'analyse de N_2 , P_2O_5 , K_2O et la granulométrie [2-4] mm .

IV.3.2.4. Les résultats et les interprétations

	valeur	% contribution
Répétabilité	0,132	5,5
reproductibilité	0,185	7,7
Variation pièce	2,385	99,6
R&R	0,227	9,5
Variation total	2,396	100

Tableau 6 : Tableau des résultats du calculs de la R&R de N du NPK.

	valeur	% contribution
répétabilité	0.134	5.6
reproductibilité	0.156	6.5
Variation pièce	2.385	99.6
R&R	0.205	8.6
Variation total	2.394	100

Tableau 7 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de P_2O_5 du NPK.

	valeur	% contribution
répétabilité	0,134	5,6
reproductibilité	0,165	6,9
Variation pièce	2,385	99,6
R&R	0,212	8,9
Variation total	2,395	100

Tableau 8 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de K_2O du NPK.

	valeur	% contribution
répétabilité	0.929	7.6
reproductibilité	0.732	6.0
Variation pièce	12.17	99.5
R et R	1.183	9.7
Variation total	12.23	100

Tableau 9 : Tableau des résultats du calcul de la R&R de la granulométrie [2-4] mm du NPK.

Interprétation :

D'après ces présentations graphiques, on constate que R&R est inférieur à 10% alors le système de mesure est maîtrisé.

IV.3.3 Calcul de la capacité du procédé

L'étude de la capacité du procédé a pour but de mesurer si le procédé respecte bien certains critères de qualité fournis par le producteur ou par le client.

L'analyse va être faite par le logiciel MINITAB, c'est un logiciel qui comprend tous les tests et toutes les représentations graphiques dont on a besoin pour analyser efficacement les données. En guidant vers l'analyse appropriée et en fournissant des résultats clairs [6].

IV.3.3.1 Tableau des données

L'étude préliminaire et la discussion avec l'encadrant nous ont permis de choisir le titre N₂, P₂O₅, K₂O, Granulométrie [2-4] comme des paramètres à utiliser pour l'étude de capacité. Les analyses sur les titres du NPK sont réalisées en Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE). Les tableaux (voir ANNEXE 2, 3, 4,5) suivant montrent les résultats de l'analyse du N dans le produit NPK à la sortie de l'enrobeur. On fait l'échantillonnage de chaque 30 minute pendant toute la journée, dans le mois d'avril.

Chaque point représente 12 mesures successives (6 heures), les analyses (N₂, P₂O₅, K₂O) effectuées pendant 9 jours afin d'atteindre 108 mesures en totale (voire les Résultats dans les Annexe : 2, 3, 4,5), mais pour granulométrie en fait chaque point 24 mesures successives pendant 5 jours afin d'atteindre 120 mesures pour chaque 20 minute (voir Annexe 5).

IV.3.3.2. Normalité des données

Avant de calculer, on doit vérifier la normalité des données c'est à dire les données sont distribuées selon une loi normale : $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. Pour tester la normalité, on utilise deux outils statistiques : L'histogramme juxtaposé à la courbe normale, et le p-p plot avec la droite d'Henri.

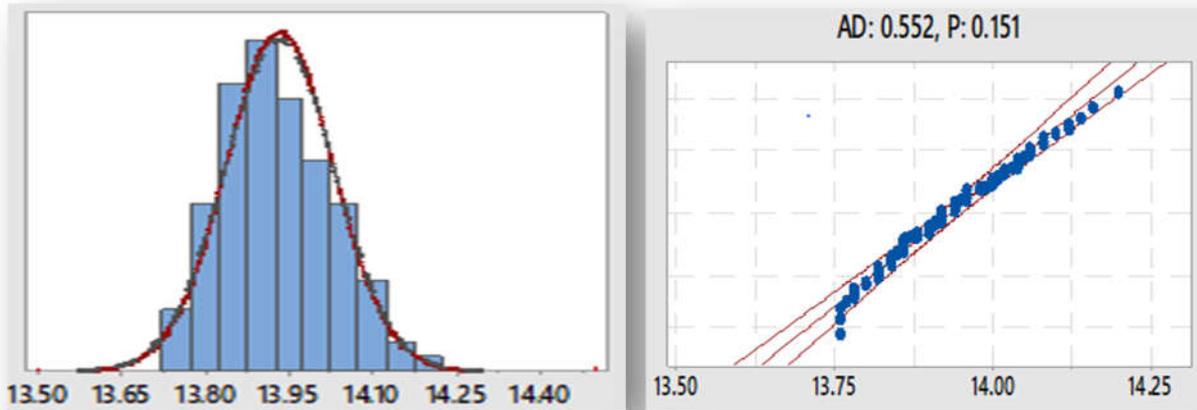


Figure 9 : L'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de l'azote N_2 .

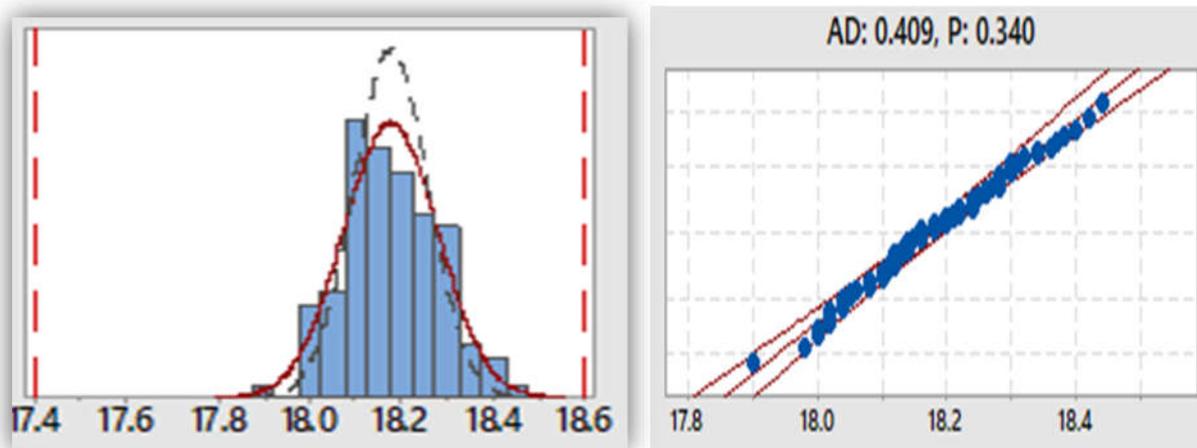


Figure 11 : L'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de P_2O_5 .

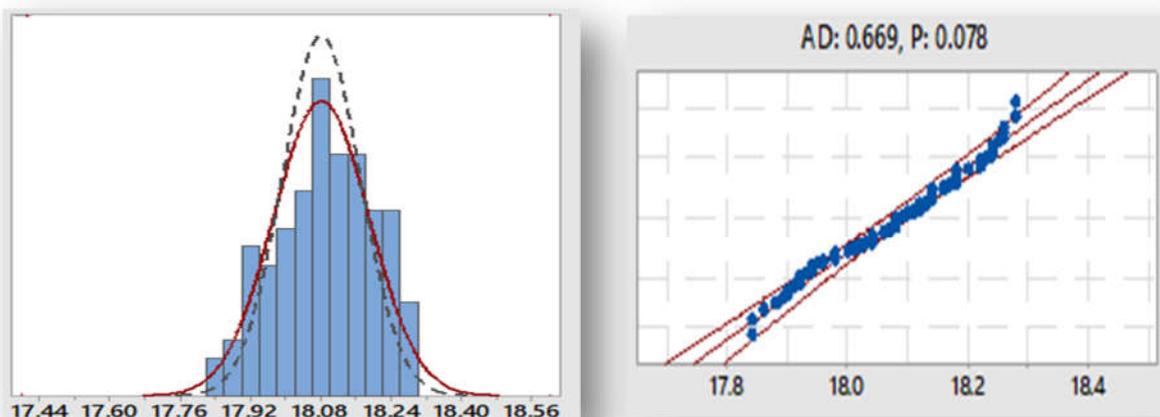


Figure 10 : l'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de K_2O .

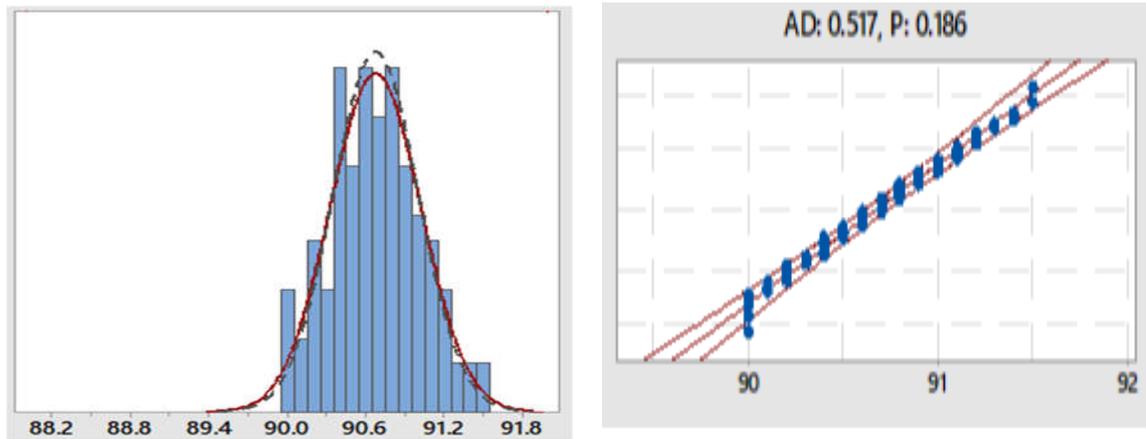


Figure 12 : l'histogramme de fréquences et la droite d'Henri des données de Granulométrie [2-4].

Interprétation :

Dans l'histogramme, les fréquences des données suivent la courbe Normalité "La cloche", on peut déduire que la normalité est assurée. Le p-plot confirme la normalité, la p-value > 0.05.

IV.3.3.3. capacité du procédé

L'étude de capacité du procédé est établie en utilisant soit :

- Les outils graphiques
- Les indices de capacité.

a. Outils graphiques (histogramme)

Les limites de spécification formulées par le producteur sont LSI= 13.5, USS= 14.5 d'où l'intervalle de tolérance [LSI, LSS] = [13.5, 14.5].

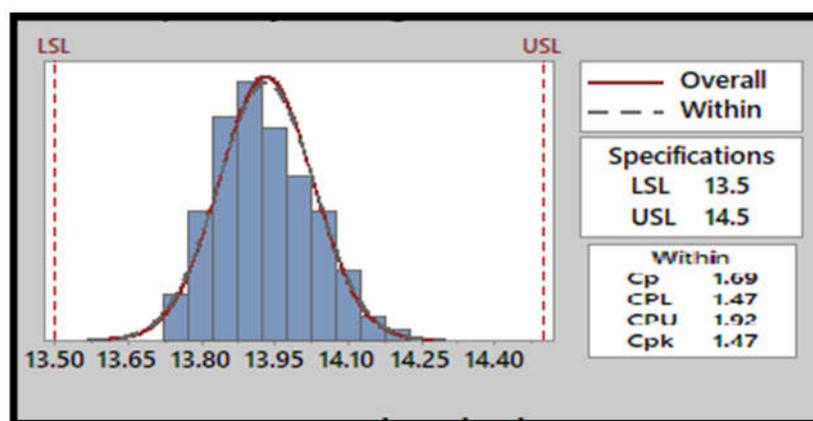


Figure 20 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de l'azote.

CHAPITRE III

Les limites de spécification formulées par le producteur sont LSI= 17.5, USS= 18.5

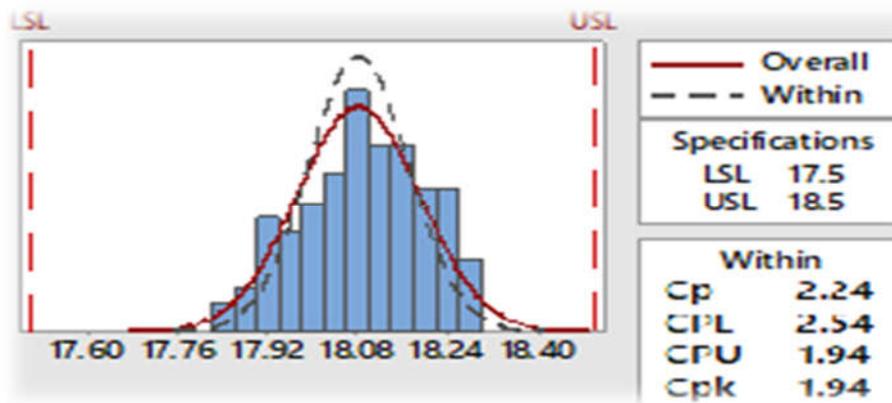


Figure 21 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de K_2O .

Les limites de spécification formulées par le producteur sont LSI= 17.4, USS= 18.5

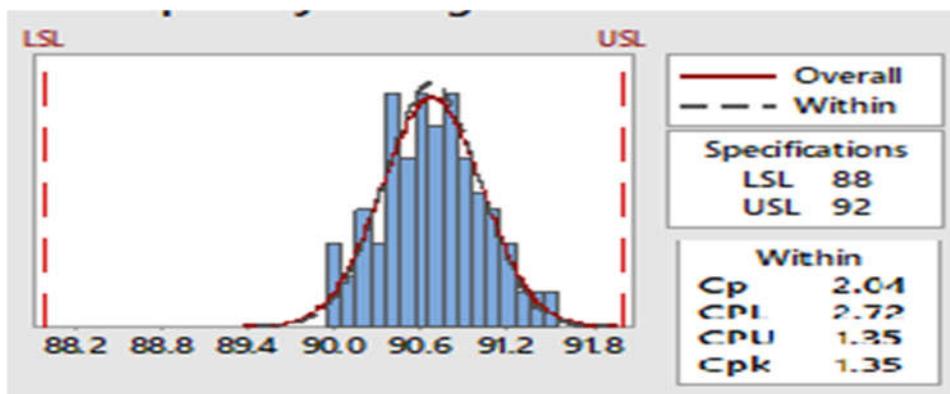


Figure 132 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de P_2O_5 .

Les limites de spécification formulées par le producteur sont LSI= 88, USS= 92

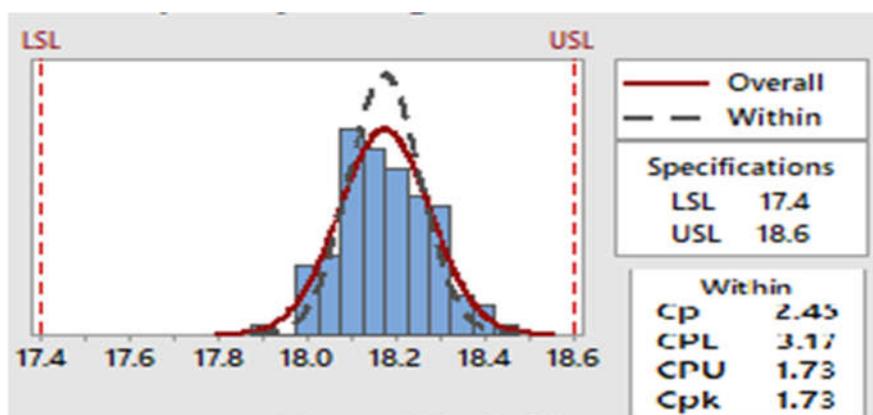


Figure 143 : Histogramme des fréquences des données avec les limites de spécification de Granulométrie [2-4].

CHAPITRE III

Interprétation :

D'après l'histogramme ci-dessus, on remarque que des données se trouvent à l'intérieur des limites de spécification, on déclare alors que le procédé est capable.

b. Les indices de capabilité

Les indices de capabilité sont des outils utilisés pour vérifier la capabilité d'un procédé analytiquement.

L'indice de dispersion Cp

C'est l'indice qui a pour but de mesurer si la dispersion de la caractéristique étudiée est plus ou moins grande par rapport à l'intervalle de tolérance. L'indice de capabilité procédé (Cp) est normalisé par l'ISO, l'exigence actuelle sur Cp est $Cp \geq 1.67$.

$$\text{On a : } Cp = \frac{USL - LSL}{6 \times \sigma} \quad \text{Avec } \sigma \text{ égale à } 0.09851$$

Alors :

Les Paramètres	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	Granulométrie [2-4]
Cp	1.69	2.24	2.45	2.04

Puisque $Cp > 1,67$ notre procédé est capable.

L'indice de capabilité Cpk

Cet indice mesure à la fois si le procédé est capable et s'il est bien réglé (centré). L'indice de capabilité procédé (Cpk) est normalisé par l'ISO, l'exigence actuelle sur Cpk est $Cpk \geq 1.33$

$$\begin{aligned} \text{On a : } Cpk &= \min\left(\frac{\mu - LSL}{3 \times \sigma}, \frac{USL - \mu}{3 \times \sigma}\right) \\ &= \min(Cpl, Cpu) \end{aligned}$$

Alors :

Les Paramètres	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	Granulométrie [2-4]
Cpk	1.47	1.94	1.73	1.35

Donc le procédé est capable et bien réglé.

Conclusion :

D'après ces résultats et ces calculs on peut confirmer que la capacité de procédé de capable, et la répétabilité et reproductibilité(R&R) bien maîtrisé, pour l'amélioration la qualité des engrais NPK, il faut concentrer les efforts pour contrôler les causes et les paramètres influences.

IV-4. Etape Analyse

Dans cette partie, nous avons construit le diagramme causes possible qui peuvent détériorer la qualité de produit des engrais NPK. Du point, les titres molaire des NPK et classifications granulométrique. Il peut être utilisé comme outil de visualisation synthétique et de communication des causes identifiées.

IV.4.1. Le diagramme de cause à effet ou d'Ishikawa

La méthode 5M est une méthode d'analyse qui sert à rechercher et à représenter de manière synthétique les différentes causes possibles d'un problème. Elle fut créée par le professeur Kaoru Ishikawa (1915-1989) d'où son appellation « Méthode d'Ishikawa ».

La méthode d'Ishikawa utilise une représentation graphique (diagramme) en forme de poisson pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leur effet (défaut, panne, dysfonctionnement...). Ce qui d'autre part lui a valu les appellations de « diagramme en arêtes de poisson », et « diagramme de causes à effet ».

Ce diagramme se structure habituellement autour du concept des 5 M :

M1 : Matière : les matières et matériaux utilisés et entrant en jeu, et plus généralement les entrées du processus.

M2 : Matériel : l'équipement, les machines, le matériel informatique, les logiciels et les technologies.

M3 : Méthode : le mode opératoire, la logique du processus et la recherche et développement.

M4 : Main-d'œuvre : les interventions humaines.

M5 : Milieu : l'environnement, le positionnement, le contexte.

Il nous servira à classer les causes de gaspillages par ordre de gravité, ceci imposera des priorités particulières afin de les résoudre. À l'issue de la séance de brainstorming, le chef d'atelier ainsi

CHAPITRE III

que les chefs d'équipe (ligne 107B) doivent hiérarchiser les causes exposées afin de déterminer leur ordre d'importance. Pour ce faire, nous avons opté pour un outil adapté à ce tri étant le vote pondéré. Le principe est de donner aux votants un nombre de poids défini que chacun devra répartir sur les différentes causes. Dans notre cas, chaque personne doit attribuer un poids entre 1 et 20 à chaque cause, la cause qui fait le plus de variabilité aura le poids le plus haut. Ensuite, collecter l'ensemble des votes afin de classer dans l'ordre décroissant les causes ainsi évaluées. Les résultats obtenus sont inscrits dans les figures 30,31.

IV.4.1.1. Diagramme d'Ishikawa de la variation des tenures de NPK

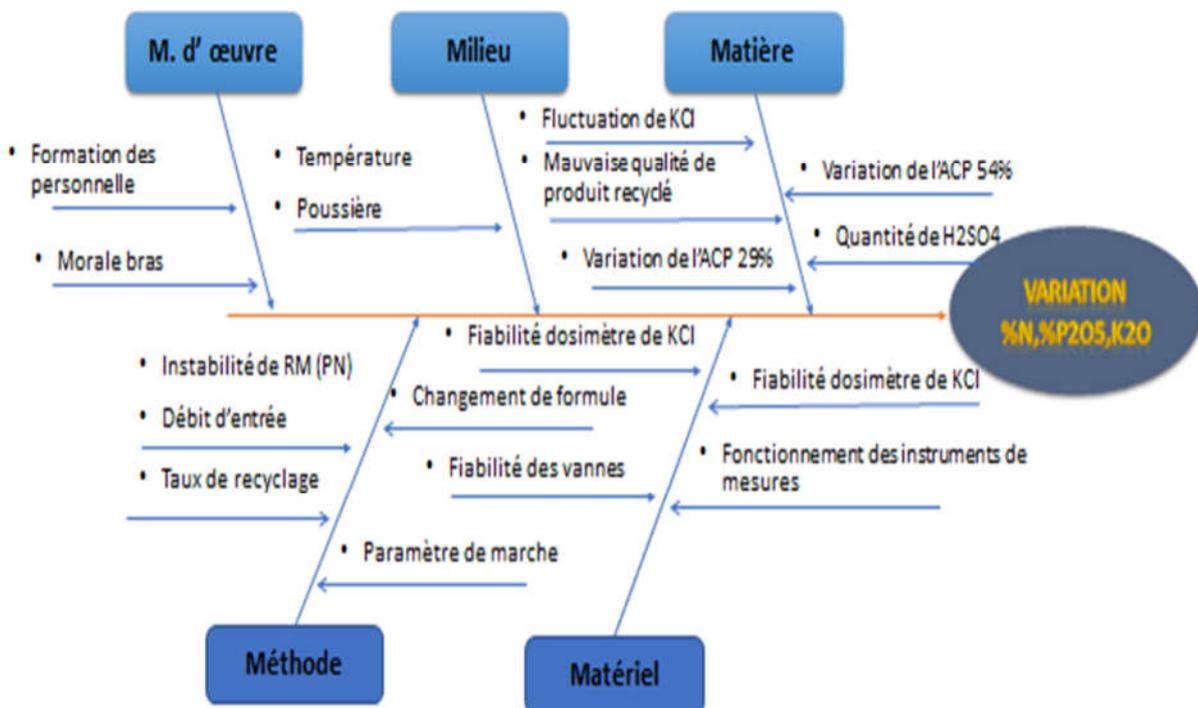


Figure 24 : Diagramme d'ISHIKAWA de la variation de la qualité NPK (%N₂, %P₂O₅, K₂O).

IV.4.1.2. Diagramme d'ISHIKAWA de la Granulométrie

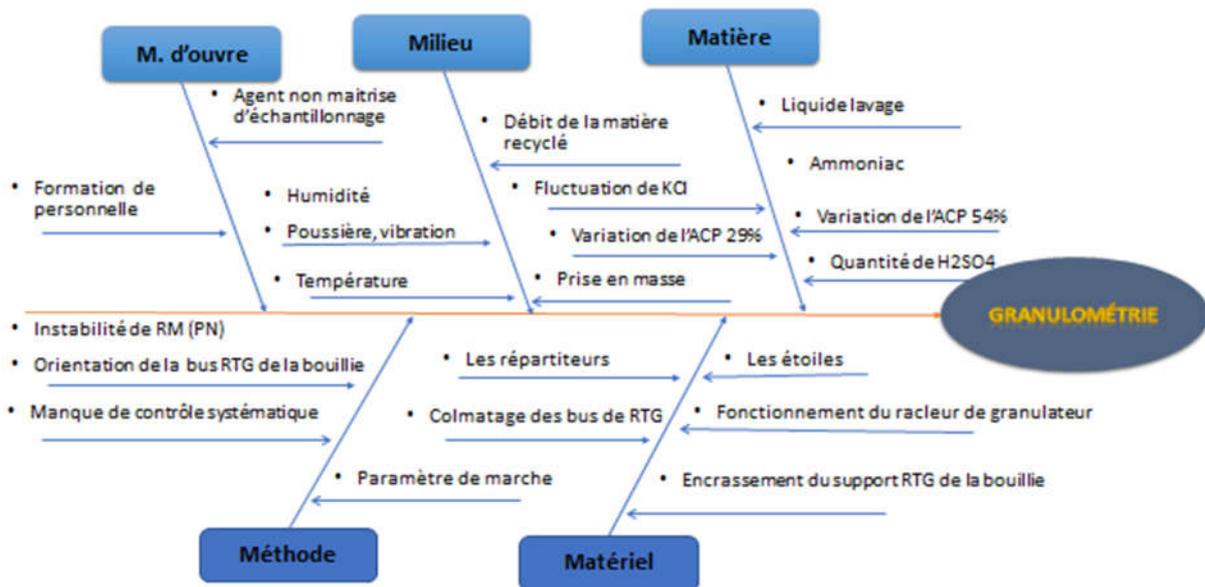


Figure 25 : Diagramme d'ISHIKAWA de la Granulométrie.

Conclusion :

A l'aide de la sélection des causes par la méthode 5M on a trouvé les causes racines possibles sans discrimination, dans cette étude nous a permis d'en recenser les différentes causes de façon structurée et d'autre part pour la réduction des variabilités sur la qualité des engrais NPK (14-18-18).

IV.4.2.Plans d'expériences Introduction

IV.4.2.1 .Introduction

La planification expérimentale regroupe un ensemble de techniques statistiques destinées à analyser le comportement d'un système expérimental dans le but d'en comprendre et d'en améliorer le fonctionnement. Dans le domaine industriel, les plans expérimentaux peuvent servir de méthode pour l'optimisation de procédés de fabrication ainsi que pour la formulation de produits. Un dispositif expérimental peut être considéré comme un système délivrant une ou plusieurs réponses. La réponse du système dépend d'un certain nombre de facteurs. Les variables d'entrée du système, dont nous supposons qu'elles peuvent varier indépendamment les unes des autres, sont appelées facteurs. Dans ces plans, nous distinguons les facteurs contrôlés de ceux non contrôlés (connus ou non), dont nous ne pouvons plus fixer librement les valeurs. Les réponses du système sont constituées des variables d'intérêt dans la phase d'optimisation [7].

IV.4.2.2 Définition

Un Plan d'expériences est une suite d'essais rigoureusement organisés, afin de déterminer avec un minimum d'essais et un maximum de précision, l'influence respective des différents paramètres de conception ou de fabrication d'un produit, afin d'en optimiser les performances et le coût.

IV.4.2.3.L'intérêt des plans d'expériences

L'objet de la méthodologie des plans d'expériences est d'aider l'expérimentateur à résoudre les problèmes suivants (classés par ordre chronologique) :

- a. la sélection des facteurs qui influencent la réponse.
- b. détermination de la (ou des) combinaison (s) de facteurs conduisant à une optimisation de la réponse.

IV.4.2.4 Présentation de l'étude

IV.4.2.4.1. Définir le problème

Le problème qu'on va étudier dans cette partie d'analyse l'étude de la variabilité de la qualité NPK : 14 .18 .18 (les titres molaires %N,%P₂O₅,%K₂O ; granulométrie [2-4]), et on doit chercher les qu'elles Parmi les paramètres de fabrication influence sur qualité NPK positivement ou négativement.

IV.4.2.4.2 Déterminer l'objectif

Pour remédier à notre problème des paramètres de marche sur la qualité NPK, on va utiliser la méthode des plans d'expériences pour minimiser le nombre des essais, ainsi de réduire les paramètres qui n'ont pas d'influence et un maximum de précision.

IV.4.2.4.3 Définir les paramètres d'entrée (Facteurs)

Un paramètre d'entrée d'un système (variable d'entrée) est appelé facteur X. Ce facteur est une cause possible de variation de la réponse Y.

seize paramètres d'entrée dans cette étude : la teneur en acide phosphorique (P₂O₅) 29%, densité de l'acide phosphorique (P₂O₅) 29% , taux de solide P₂O₅ 29% ,la teneur en acide phosphorique (P₂O₅)54% , densité de P₂O₅ 54%, taux de solide P₂O₅ 54% ,débit de l'ammoniac , débit de Chlorure de potasse, débit de liquide lavage , débit de l'acide sulfurique,

CHAPITRE III

Température , débit de l'acide phosphorique(P_2O_5) 54%,densité de la bouillie , rapport molaire sortie granulateur (SAG),humidité, rapport molaire de préneutraliseur(PN).

IV.4.2.4.4.Définir les sorties (Réponse)

La réponse Y (variable de sortie) correspond à un paramètre de sortie du système étudié. Une réponse doit être représentative, quantifiable et la moins dispersée possible pour des variables d'entrées maîtrisées et constantes.

Les sorties (les réponses) dans cette procédé peuvent être classées en quatre grands types : Azote (N), acide Phosphorique (P_2O_5) et potassium (K_2O), granulométrie [2-4].

IV.4.2.5 Choix de la stratégie

On va choisir dans cette partie la démarche de plans de criblage pour réduire les facteurs influence Sur la qualité NPK : 14, 18,18.

IV.4.2.5.1 Plan de criblage

Le plan de criblage consiste à rechercher de façon grossière et très rapide quels sont les facteurs potentiellement influents et ceux qui le sont effectivement, dans un domaine expérimental fixé. Ainsi, le but recherché par le plan de criblage est d'estimer le <poids > de chacun des facteurs étudiés.

IV.4.2.5.2 Plan factoriel

Est un plan des expériences qui permet d'étudier les effets que plusieurs facteurs peuvent avoir sur une réponse.

IV.4.2.5.3 Plans de surface

Plans de surfaces utilisées pour analyser des problèmes dans lesquels la réponse est influencée par plusieurs variables et pour lesquels l'objectif est d'optimiser la réponse

IV.4.2.5.4 Criblage des Facteurs

Des études de criblage préalable, ont permis d'étudier le poids des facteurs grâce à un plan d'expériences appelé plan de criblage.

IV.4.2.6 FACTEURS - MODALITES - DOMAINE EXPERIMENTAL

En concertation avec l'encadrant du l'OCP Jorf -Lasfar, nous avons choisi les facteurs susceptibles d'influencer l'écart entre les résultats trouver par le laboratoire LPEE et la salle de contrôle de procédé.

CHAPITRE III

Nous regroupons dans le tableau (voir annexe 23) les paramètres influencent sur le procédé à deux niveaux (niveau -1, niveau +1) retenus ainsi que leurs domaines de variations

L'influence des 16 facteurs sur la qualité des engrais NPK, a été menée via un plan de criblage qui nécessitait 2 valeurs par facteur Donc :

Nombre de facteurs : $k = 16$, Nombre de modalités : $m_i = 2$, $N_{total} = 2^{16} = 65536$ expériences possibles.

Les plans d'expériences que nous allons décrire dans cette partie, vont évidemment montrer qu'il n'est pas nécessaire de réaliser les 65536 expériences.

Dans le cas présent, tous les facteurs présentent deux modalités, Ces modalités sont reportées dans le Tableau Annexe 11.

-Matrice d'expériences (Hadamard) : Il est maintenant possible d'introduire la matrice d'expériences qui traduit les niveaux à assigner à chaque facteur pour chacun des essais.

Le tableau suivant présente une matrice d'expériences pour 16 facteurs (**Voir Annexe 11**)

IV.4.2.6.1 Analyse graphique des Résultats

L'analyse des résultats des titres de NPK (%N,%P₂O₅,%K₂O) et granulométrie mentionnés dans les graphes des effets (figures n°32, 33, 34,35) :

-Analyse de résultats de %N

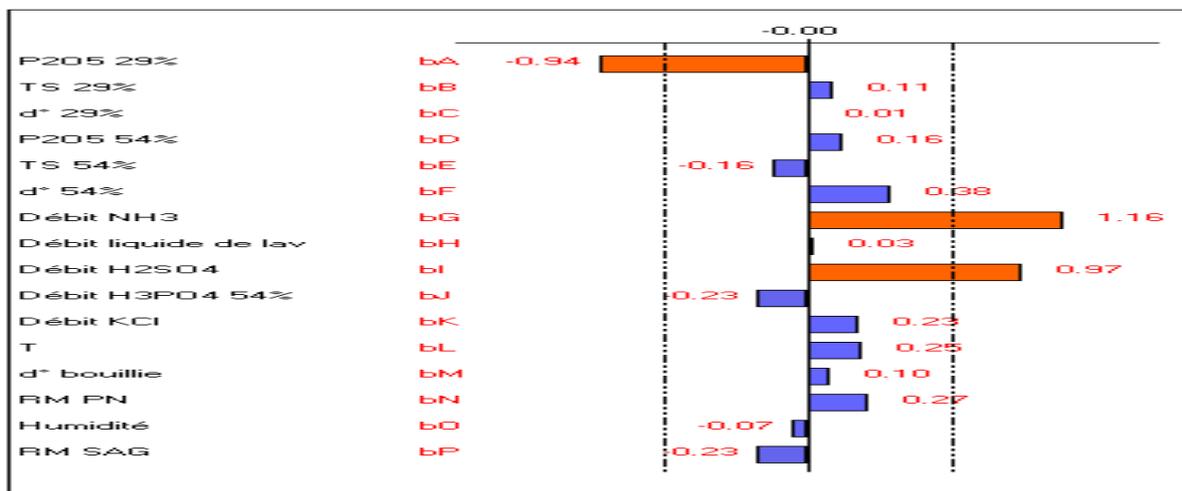


Figure 15 : Graphe des effets moyens de N₂ (l'azote).

Interprétation :

D'après les résultats dans cette figure on constate que le débit de liquide lavage, débit de H₂SO₄ un effet positive sur l'azote par contre la teneur de P₂O₅ 29% un effet négative, les autres sont négligeables.

CHAPITRE III

-Analyse de Résultats de %P₂O₅

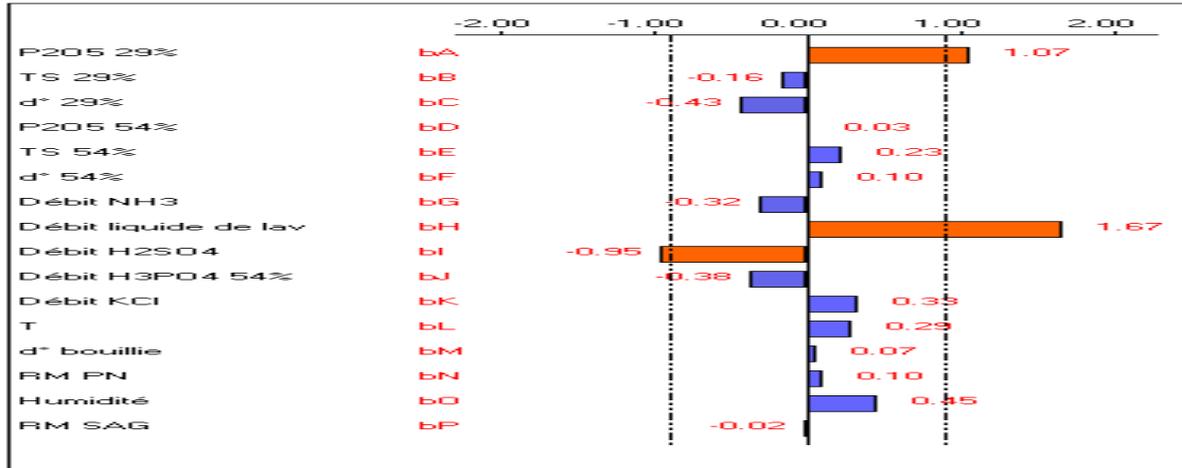


Figure 16 : graphe des effets moyens de P₂O₅.

Interprétation :

Le graphe au-dessus, montre que le débit de liquide lavage et le titre de P₂O₅ 29% ont un effet positif sur le titre de P₂O₅. En outre le débit de H₂SO₄ a un effet négatif pas contre les autres sont négligeables.

-Analyse graphique de K₂O

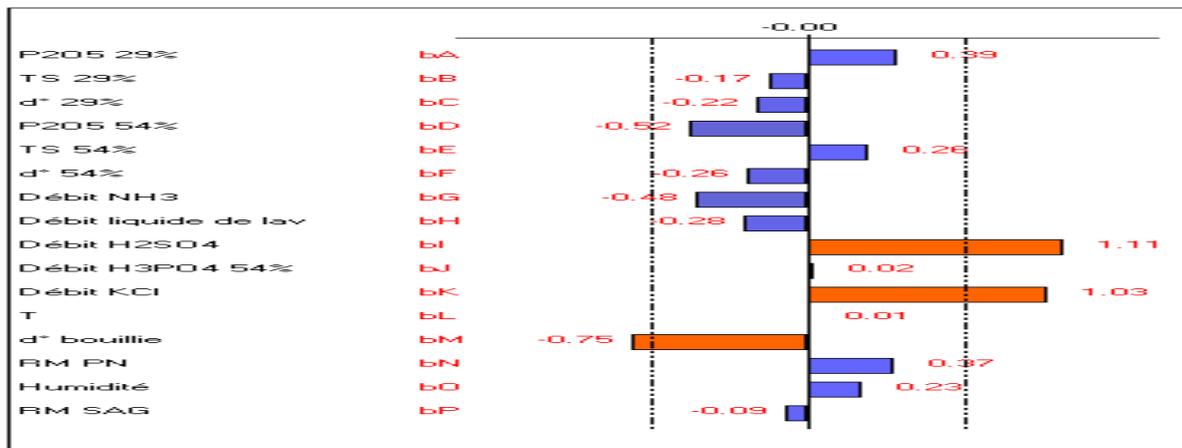


Figure 17 : Graphe des effets moyens de K₂O

Interprétation :

La figure montrée que le débit de H₂SO₄ et débit de KCl ont des effets positifs sur la potasse. On outre la densité de bouillie à un effet négatif, les autres facteurs sans effet sur la potasse.

-Analyse graphique de la granulométrie [2-4]

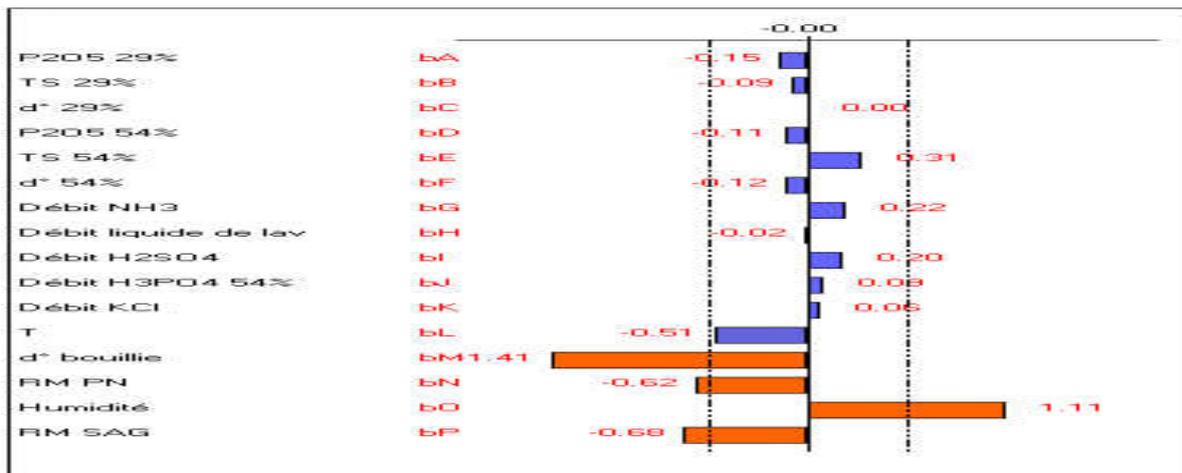


Figure 18 : Graphe des effets moyens de Granulométrie [2-4].

Interprétation :

Nous constatons que le facteur de l'humidité a un effet positif, par contre la densité de la bouillie et le rapport molaire de préneutraliseur (RM PN), rapport molaire sortie granulateur (RM SAG) ont un effet négatifs. Parfois la température a impacte sur la granulométrie, les d'autres aucun influences.

IV.5. Améliorer

IV.5.1. Optimisation – plans à surface de réponse

Il existe différentes méthodes d'optimisation parmi lesquelles on peut citer les plans d'expériences pour l'étude des surfaces de réponses. La plupart de nos études seront des problèmes d'optimisation. Cette méthode permet la recherche des niveaux optimaux des facteurs pour atteindre un niveau de réponse souhaité.

Objectifs de l'Optimisation

Comme nous l'avons dit précédemment, l'objectif ici est de trouver des réglages plus précis des facteurs influences sur la qualité NPK de manière à maximiser les réponses (granulométrie et les titres).

IV.5.2. les Facteur et les niveaux

Les 6 facteurs utilisés ont été déterminés par le plan de criblage pour les titres des NPK : P₂O₅ 29%, débit de NH₃, débit de liquide de lavage, débit de KCl, débit de H₂SO₄, densité de la bouillie.

CHAPITRE III

Les cinq facteurs utilisés ont été déterminés par le plan de criblage pour la granulométrie [2-4] sont : température, Rapport molaire SAG, Rapport molaire de PN, Humidité, densité de la bouillie.

A présent, on définit le domaine expérimental qui détermine les limites de variation des facteurs U_{\min} et U_{\max} à l'intérieur desquelles on définira des niveaux U_i (voir les Tableaux Annexe : 15,16).

IV.5.3. Réponses pour le plan d'optimisation

Les sorties correspondant aux titres molaire de NPK (% N, % P_2O_5 , % K_2O) et granulométrie [2-4]

IV.5.4. Modél empirique

Dans le cas présent le modèle polynomial est de forme générale:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k b_{ij} X_i X_j$$

Rappelons que le nombre d'inconnues d'un polynôme de degré 2 est établi à partir de la formule suivante :

$$P = \frac{(K+1)!}{K!2!} \longrightarrow P = \frac{(K+2)(K+1)}{2}$$

Cette modèle permet de définir le nombre d'inconnues à estimer à partir de l'analyse des résultats d'essais, suite au résultat du plan d'expérimentation.

Cette modèle permet de définir le nombre d'inconnues à estimer à partir de l'analyse des résultats d'essa.

IV.5.5. Estimation des coefficients des différents modèles liés aux différentes réponses.

Pour une réponse donnée et pour le traitement du plan d'expériences, on peut écrire compte-tenu de la forme générale du modèle, les relations suivantes :

D'après les résultats des Coefficients sur la Réponse en a trouver des modèles mathématiques.

-Modèle empirique pour %N :

$$Y_{\%N} = 13.730 - 1.731X_1 + 1.738X_2 - 0.087X_3 - 0.449X_4 + 1.366X_5 + 0.060X_6 - 0.050X_1^2 + 0.083X_2^2 - 0.026X_3^2 + 0.158X_4^2 - 0.003X_5^2 + 0.015X_6^2 - 0.115X_1X_2 + 0.059X_1X_3 + 0.128X_2X_3 + 0.027X_1X_4 + 0.016X_2X_4 - 0.642X_3X_4 + 0.074X_1X_5 + 0.065X_2X_5 + 0.043X_3X_4 + 0.126X_4X_5 - 0.167X_1X_6 + 0.172X_2X_6 + 0.496X_3X_6 + 0.131X_4X_6 + 0.016X_5X_6$$

-Modèle empirique pour %P₂O₅ :

$$Y_{\%P_2O_5} = 16.6 - 1.827X_1 + 0.108X_2 + 1.308X_3 + 1.254X_4 - 1.194X_5 + 0.078X_6 + 0.040X_1^2 - 0.047X_2^2 + 0.024X_3^2 + 0.176X_4^2 - 0.007X_5^2 + 0.092X_6^2 + 0.058X_1X_2 - 0.027X_1X_3 - 0.105X_2X_3 - 0.014X_1X_4 - 0.005X_2X_4 - 0.683X_3X_4 + 0.046X_1X_5 + 0.060X_2X_5 + 0.088X_3X_5 + 0.135X_4X_5 - 0.805X_1X_6 + 0.319X_2X_6 + 0.288X_3X_6 + 0.255X_4X_6 + 0.103X_5X_6$$

-Modèle empirique pour %K₂O :

$$Y_{\%K_2O} = 16.850 + 0.561X_1 - 0.208X_2 - 0.213X_3 + 1.668X_4 + 0.924X_5 - 1.418X_6 + 0.1X_1^2 + 0.043X_2^2 - 0.153X_3^2 + 0.180X_4^2 + 0.122X_5^2 - 0.147X_6^2 - 0.133X_1X_2 + 0.274X_1X_3 - 0.080X_2X_3 - 0.022X_1X_4 - 0.806X_3X_4 + 0.369X_1X_5 + 0.075X_2X_5 + 0.178X_3X_5 + 0.196X_4X_5 + 0.351X_1X_6 - 0.383X_2X_6 - 0.374X_3X_6 - 0.089X_4X_6 - 0.072X_5X_6$$

-Modèle empirique pour la granulométrie [2-4]

$$Y_{\text{Granulométrie}} = 89.6 - 0.31X_1 - 0.94X_2 - 0.97X_3 + 1.23X_4 - 1.02X_5 + 0.5X_1^2 + 0.19X_2^2 - 0.07X_3^2 - 0.12X_4^2 - 0.08X_5^2 - 0.61X_1X_2 + 0.39X_2X_3 - 0.22X_1X_3 - 0.39X_2X_3 + 0.17X_1X_4 - 0.01X_2X_4 - 0.21X_3X_4 - 1.8X_1X_5 - 0.38X_2X_5 - 0.44X_3X_5 - 1.22X_4X_5$$

IV.5.6. le choix de plans d'expériences

Nous avons choisi dans ces types de plans d'expériences la matrice de Doehlert, sont des matrices asymétriques pour lesquelles tous les facteurs ne possèdent pas le même nombre de niveaux et dont le nombre de traitements expérimentaux distincts obéit à la relation suivant :

$$N = k^2 + k + 1$$

Soit : - $N = 6^2 + 6 + 1 = 43$ expériences à réaliser pour la granulométrie [2-4].

- $N = 5^2 + 5 + 1 = 31$ expériences réalisé pour les titres des NPK.

Les matrices d'expériences associées à un réseau uniforme de Doehlert pour six et cinq facteurs.

La matrice de Doehlert on doit respecter la relation suivante :

$P \leq N$ dans notre cas $N \geq 21$ ou 28.

La géométrie sphérique ou cubique ainsi que le nombre de niveaux qu'il est possible de réaliser influence la construction de la matrice d'expériences.

IV.5.6.1. Plans de surface de réponses

CHAPITRE III

Les espaces de représentation des surfaces de réponse sont définis à partir de la variation de deux facteurs. Nous utiliserons le logiciel Nerdow pour la construction de ces graphiques (voir Annexe 15.16).

L'analyse graphique du modèle consiste à restituer l'équation de ce dernier sous deux formes : Surfaces de réponse et les courbes iso-réponse.

IV.5.6.1.1 Surfaces de réponses :

Les surfaces de réponse sont des graphiques en trois dimensions (voir Figure 37, 38, 39,40). Le plan horizontal de la figure matérialise le domaine de variation de deux facteurs ; l'axe vertical matérialise la variation de la réponse à partir du modèle.

IV.5.6.1.2 Courbes iso-réponses :

Les courbes d'iso-réponses constituent une projection de la surface de réponse dans le plan horizontal (Figure 37, 38, 39,40). Elles s'interprètent comme des courbes de niveaux sur lesquelles est projetée la valeur de la réponse.

IV.5.7. ANALYSE GRAPHIQUE DES RESULTATS

-Analyse graphique d'ammoniac

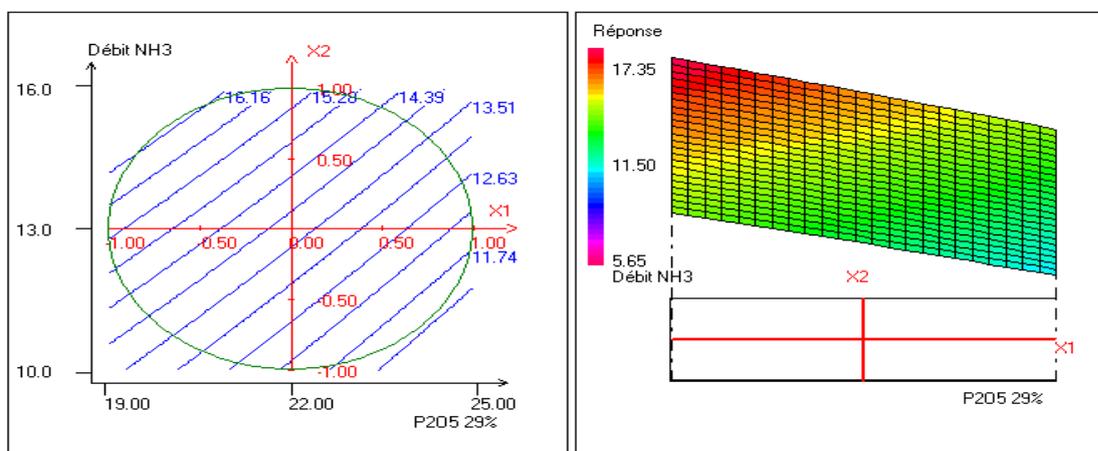


Figure 19 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour l'ammoniac

Interprétation :

La réponse d'ammoniac varie en fonction de P_2O_5 29% et le débit de NH_3 , ce plan permet de fixer le débit de liquide de lavage à $54m^3/h$, débit de KCl 28 à t/h, débit de H_2SO_4 à $130m^3/h$ et la densité de bouillie à 1360. Et pour avoir 14% de l'azote il faut que les valeurs de la teneur de P_2O_5 29% et le débit de NH_3 égalent 23,21 ; 14.7 respectivement.

-Analyse graphique de P₂O₅

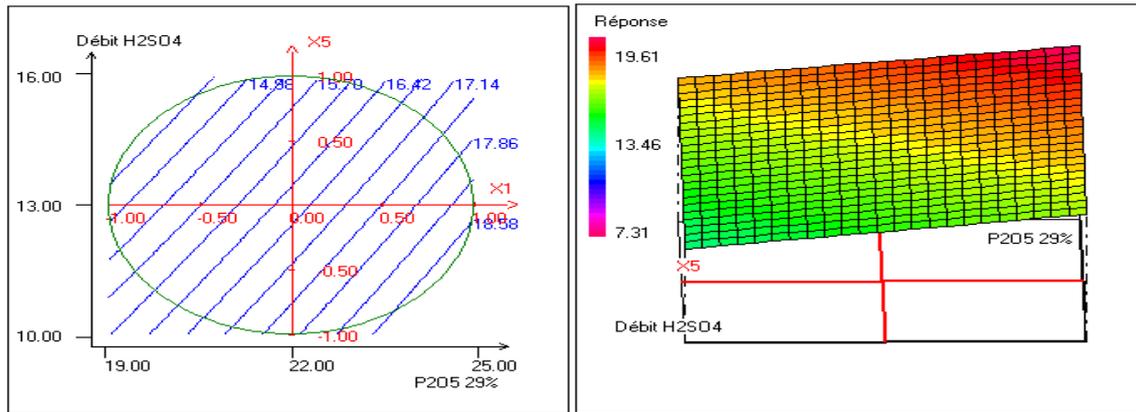


Figure 20 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour P₂O₅

Interprétation :

Le P₂O₅SE+SC varie en fonction de débit de P₂O₅ 29% et débit de H₂SO₄, ce plan permet de fixé le débit de NH₃ à 13m³/h, débit de liquide lavage à 54m³/débit de KCl à 28t/h, densité de bouillie 1360. Et pour avoir 18% de P₂O₅ il faut que les valeurs de la teneur de P₂O₅ et le débit de H₂SO₄ égalant 23.3%, 11.44 m³ /h respectivement.

-Analyse graphique de K₂O

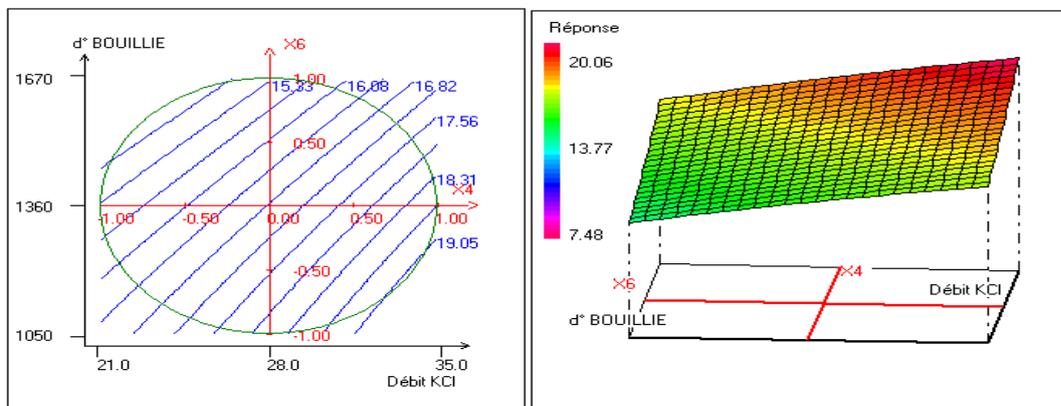


Figure 21 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour K₂O.

Interprétation :

La réponse de potasse(K₂O) varie en fonction de la densité de bouillie et le débit de KCl, ce qui Permet de fixé les facteurs densité de P₂O₅ à 22%, débit de NH₃ à 13m³/h, débit de liquide lavage à 54 m³/h, débit de H₂SO₄ à 13m³ /h. Et pour avoir 18% de potasse il faut que les valeurs de débit de KCl et la densité de la bouillie égalant 29.9m³/h, 1209 respectivement.

-Analyse graphique de granulométrie [2-4]

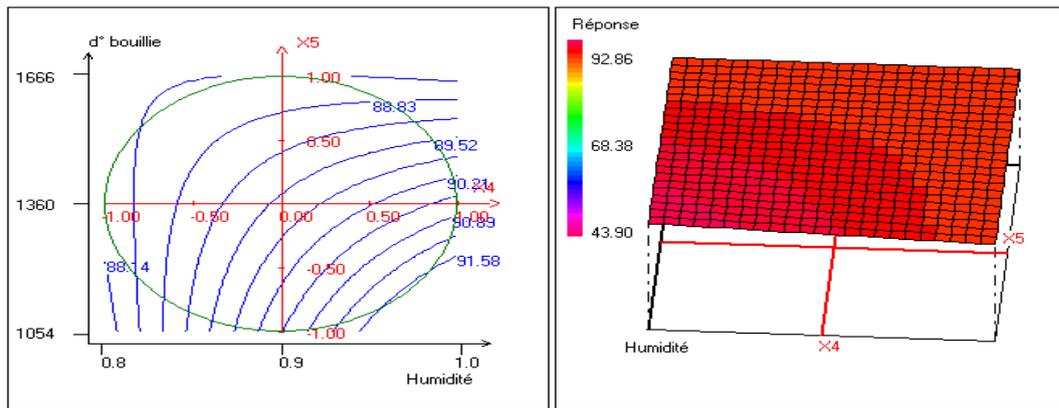


Figure 22 : Courbe d'iso-réponses et surface de réponses pour granulométrie [2-4]

Interprétation :

La figure représente la variation de la réponse de la granulométrie [2-4] en fonction de l'humidité et la densité de la bouillie, ce méthode permet de fixé les facteurs température à 116°C, Rapport molaire PN à 1 .3, rapport molaire sortie granulateur à 1.6.Et pour avoir 90% de granulométrie [2-4] il faut que les valeurs de l'humidité et densité de la bouillie égalant 0.9% ,1378 respectivement.

IV.5.8.Logigramme

IV.5.8.1.Définition

Logigramme est un outil utilisé en Qualité qui permet de visualiser de façons à mener et les décisions à prendre pour atteindre un objectif défini. Il permet de décrire complètement une activité. Il est ainsi possible de mettre en évidence les éventuels gaspillages ou non-valeur ajoutée, dans une démarche d'amélioration continue.

IV.5.8.2.Objectif

Le logigramme peut avoir plusieurs objectifs, soit pour :

- Vérifier si le processus est conforme
- Permettre d'améliorer certaines étapes voir de les supprimer.
- Permettre de comprendre le rôle de chaque étape
- Pour enrichir les connaissances du personnel.
- Permet d'analyser un problème et apporter une solution.
- Et etc...

Logigramme utilisé dans cette étapes pour l'amélioration de procédé et pour visualisation les actions corrective des analyses du NPK (14%N₂.18%P₂O₅.18%K₂O).

CHAPITRE III

IV.5.8.3. Les logigrammes d'actions correctives des variables du NPK (14%N₂.18%P₂O₅.18%K₂O) :

-logigramme des actions correctives de l'azote (N₂) pour NPK (14% .18%₅.18%)

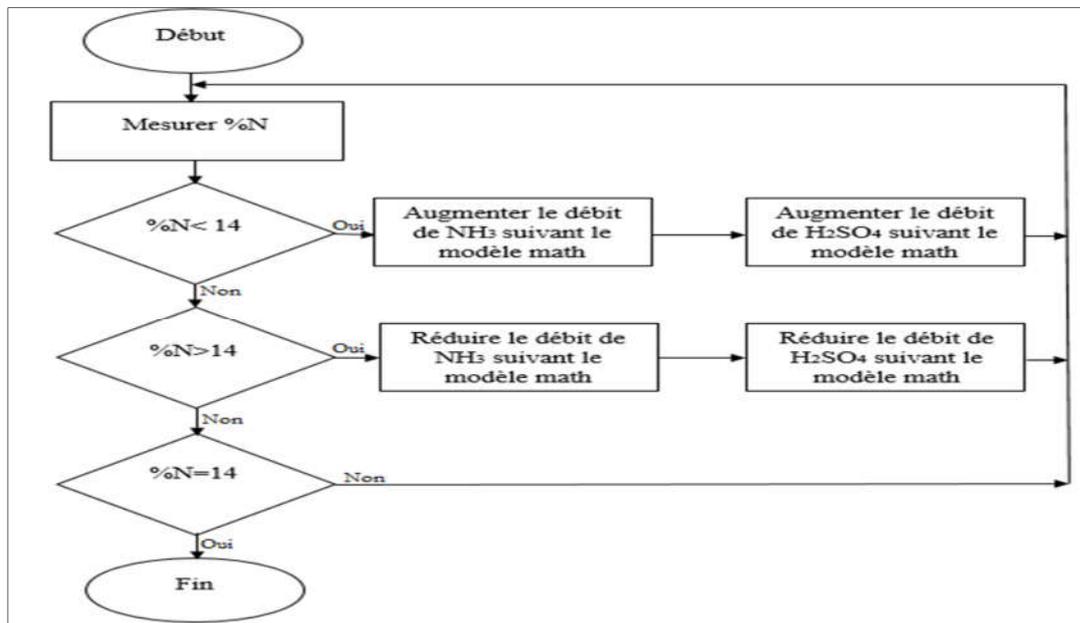


Figure 23 : logigramme d'action corrective pour l'azote N₂.

- logigramme des actions correctives de Phosphore (P₂O₅) pour NPK (14%.18%.18%)

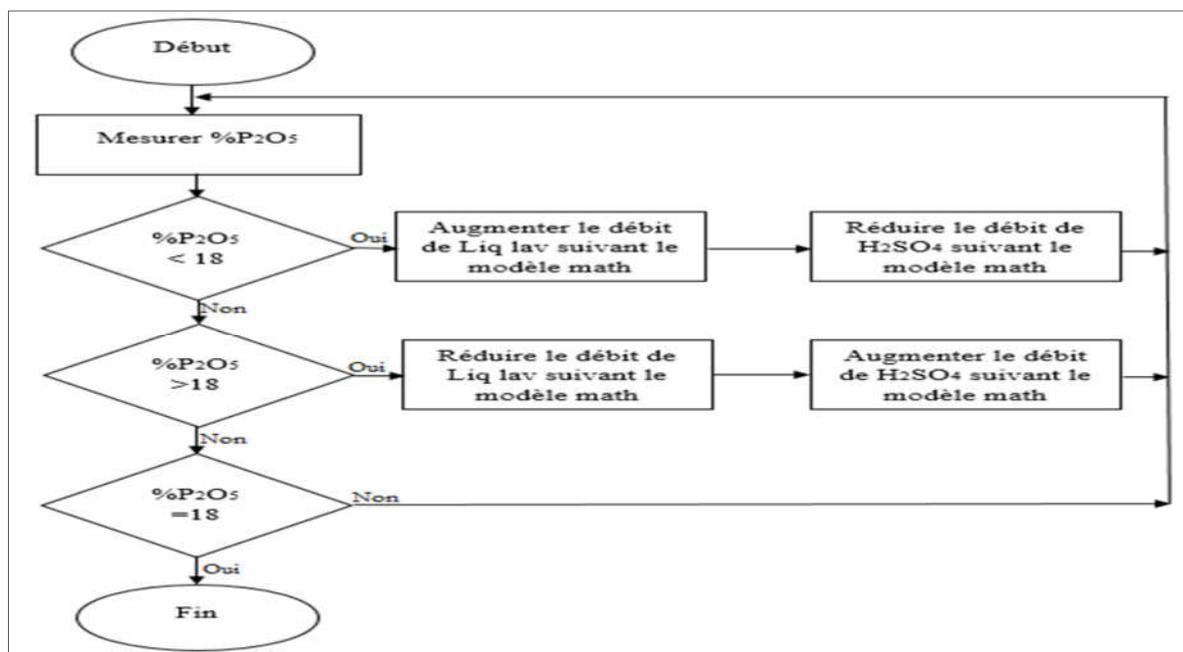


Figure 24 : logigramme d'action corrective pour P₂O₅.

CHAPITRE III

-logigramme des actions correctives de K_2O pour NPK (14,18 ,18)

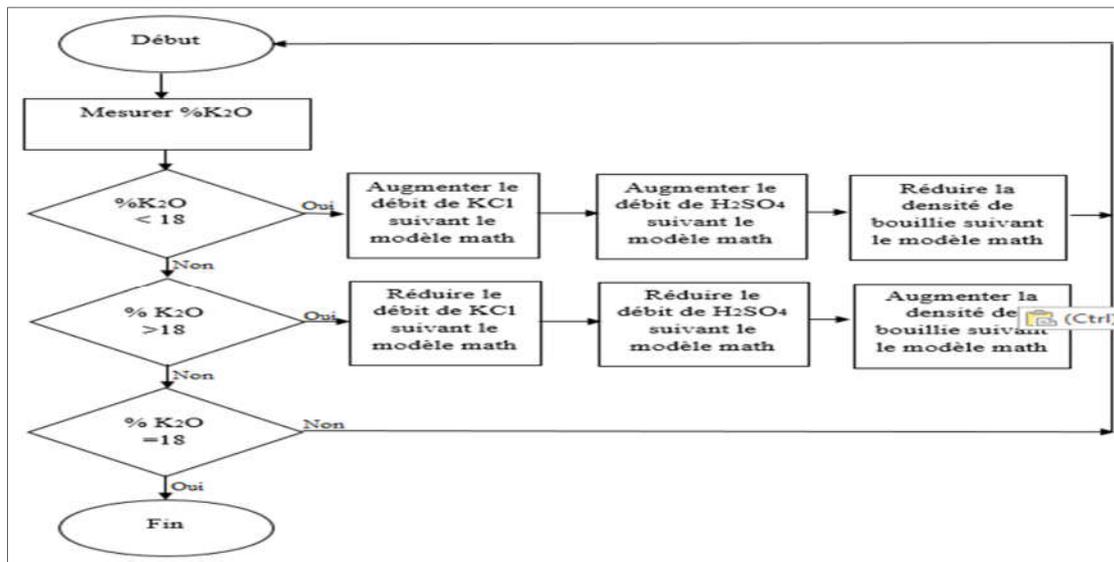


Figure 25 : logigramme d'action corrective pour K_2O .

-logigramme des actions correctives de granulométrie [2-4] pour NPK (14%. 18%.18%)

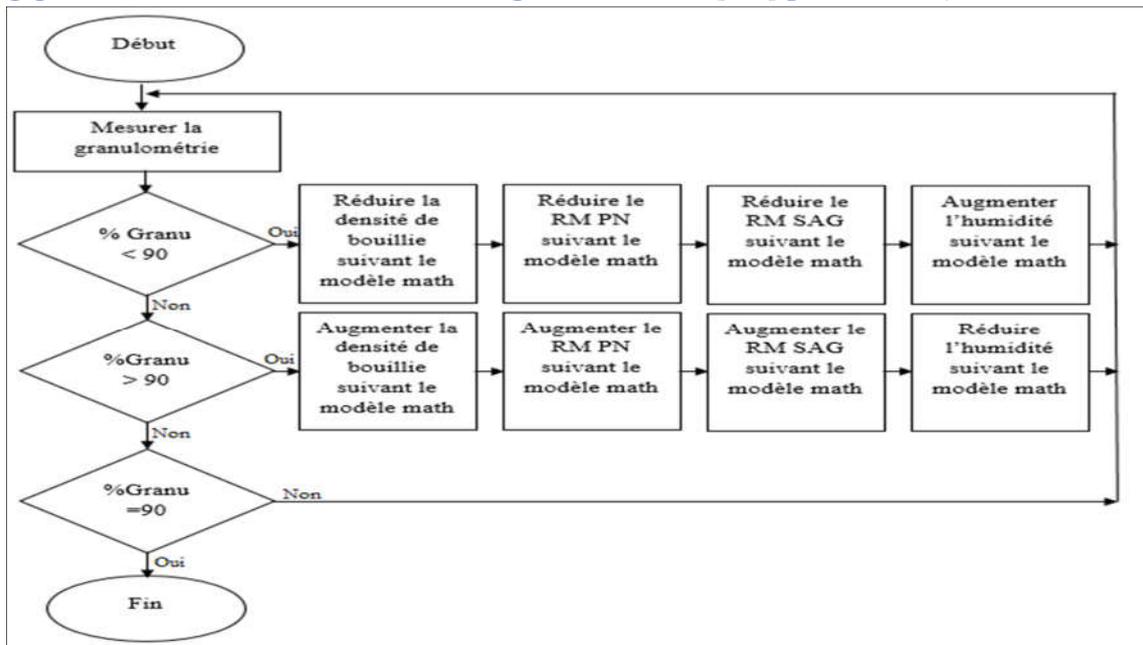


Figure 26 : logigramme d'action corrective pour la granulométrie [2-4]

IV.5.9. Bilan de matière de l'unité de production engrais

Pour avoir des titres conformes, il faut déterminer les débits nécessaires pour chaque titre pour une marche stable.

Les matières premières utilisées pour la fabrication des engrais NPK (14, 18, 18) :

- Liquide de lavage.
- L'ammoniac gaz et liquide.

CHAPITRE III

➤ Le chlorure de potassium.

Les données :

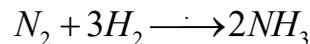
- Capacité de production est 120 t/h.
- Titre d'acide 29% est 0,29
- Densité d'acide 29% est 1,3
- Titre de KCl en K₂O est 80 %.
- QA quantité de P₂O₅.
- QB quantité de KCl.
- Densité d'ammoniac à 5°C est 0,637.
- NPK : 14% N₂, 18% P₂O₅ et 18% K₂O.
- Titre d'ammoniac est 99,7 %.
- Rendement de K₂O est RK = 96%.
- Rendement d'azote est RN = 96%.
- Rendement de P₂O₅ est Rp = 99%.

Pour fabriquer une tonne de NPK il faut avoir :

- $0,14 \times 1 = 0,14\text{t}$ d'azote
- $0,18 \times 1 = 0,18\text{t}$ de P₂O₅
- $0,18 \times 1 = 0,18\text{t}$ de K₂O

➤ Bilan d'ammoniac

On a la réaction suivante :



D'après la réaction on peut écrire :

$$n(N_2) = \frac{n(NH_3)}{2}$$

$$m(NH_3) = 2 \times \frac{m(N_2) \times M(NH_3) \times R_N}{M(N_2)}$$

$$m(NH_3) = 2 \times \frac{0,14 \times 17 \times 0,96}{28 \times 0,997}$$

$$m(NH_3) = 0,164\text{t}$$

Donc $m(NH_3) = 0,164\text{t}$, pour une tonne du NPK (14.18.18). Dans la ligne 107B on a une capacité de production de 120t/h du NPK (14. 18.18).

0,164 tonne pour une tonne du NPK, alors $m(NH_3)$ pour 120 tonnes est égale à 19.68 tonnes, en revenant à la capacité de production, pour une capacité de 120t/h on a besoin :

$$D_{m(\text{NH}_3)}=19.68\text{t/h}$$

➤ Bilan de P₂O₅

On a :

$$R_p = \frac{\text{Sortie}}{\text{Entrée}} \times 100$$

$$R_p = \frac{0.18 \times 1}{0.29 \times Q_A} \times 100$$

Alors :

$$Q_A = \frac{0.18 \times 1}{0.99 \times 0.29}$$

$Q_A = 0.62\text{t}$, pour une tonne de NPK (14, 18, 18), alors pour une production de 120 t/h :

$$Q_A = 0.62 \times 120 \Rightarrow Q_A = 74.4\text{t} \quad , \text{ avec un débit } D_{m(\text{P}_2\text{O}_5)} = 74.4 \text{ t/h}$$

➤ Bilan de K₂O

On a :

$$R_k = \frac{0.18 \times 1}{0.80 \times Q_B} \times 100$$

Alors :

$$Q_B = \frac{0.18 \times 1}{0.8 \times R_K}$$

$Q_B = 0.23 \text{ t}$, pour une tonne de NPK (14, 18, 18), alors pour une production de 120 t/h :

$$Q_B = 0.23 \times 120 \Rightarrow Q_B = 27.6\text{t} \quad , \text{ avec un débit } D_{m(\text{KCl})} = 27.6 \text{ t/h}$$

Alors pour produire des engrais de la qualité NPK (14, 18, 18) dans une capacité de 120 t/h on a besoin des valeurs de matières premières :

- Débit de NH₃ égale à 19.68 t/h.
- Débit de P₂O₅ égale à 74.4 t/h.
- Débit de KCl égale à 27.6 t/h.

IV-5. Etape "Contrôler "

On va vérifier dans cette étape de contrôle de la qualité du NPK (14, 18, 18) conforme et le procédé bien maîtrisé, en se basant sur la carte de contrôle.

IV.6.1. Carte de contrôle

Une carte de contrôle, ou plus exactement un graphique de contrôle, est un outil utilisé dans le domaine du contrôle de la qualité afin de maîtriser un processus. Elle permet de déterminer

le moment où apparaît une cause particulière de variation d'une caractéristique, entraînant une altération du processus.

Le but est suivre les performances de la production au moyen de deux graphiques qui montrent l'évolution du processus.

Les types de graphiques de contrôle les plus utilisés dans l'industrie sont les graphiques de contrôle de la moyenne et de l'étendue :

IV.6.1.2 Carte de contrôle de la moyenne : \bar{X}

La carte de contrôle de la moyenne, ou carte \bar{X} , est constituée d'une ligne centrale correspondant à la valeur $LC = \bar{\bar{X}}$, et de deux lignes de contrôle correspondant respectivement aux limites supérieures (UCL) et inférieures de contrôle (LCL) calculant suivant les relations suivantes :

$$LC = \bar{\bar{X}} ; UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} ; LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

IV.6.1.3 Carte de contrôle de l'étendue: carte R

On souhaite ici visualiser, mettre en évidence, les variations de l'étendue. la conception de la carte de schewart de l'étendue, dépendant de taille n des échantillons. Pour cette carte on a :

$$LC = \bar{R} ; UCL = D_4 \bar{R} ; LCL = D_3 \bar{R} .$$

Pour connaître la production de la qualité engrais NPK(14-18-18) stable en se basant par la vérification des analyse des teneurs des éléments fertilisant que ça soit %N₂ , %P₂O₅ , %K₂O et granulométrie[2-4], par l'intervalle entre les deux limites de contrôle, LCL et UCL, contient 99,7% des valeurs , si la production hors contrôle la probabilité pour qu'un point se trouve à l'extérieur des limites est donc 0,3%.

On effectuée dans laboratoire LPEE les analyse de N₂, P₂O₅, K₂O, granulométrie pendant sept jours et on prend trois échantillons(X1, X2, X3) dans chaque jour. Après on obtient les résultats (voir Annexe 16, 17, 18,19) .tout ce que nous avons fait pour traces les carte contrôles par logiciel Minitab on a suivantes :

CHAPITRE III

-carte de contrôle (\bar{X}, R) de l'azote :

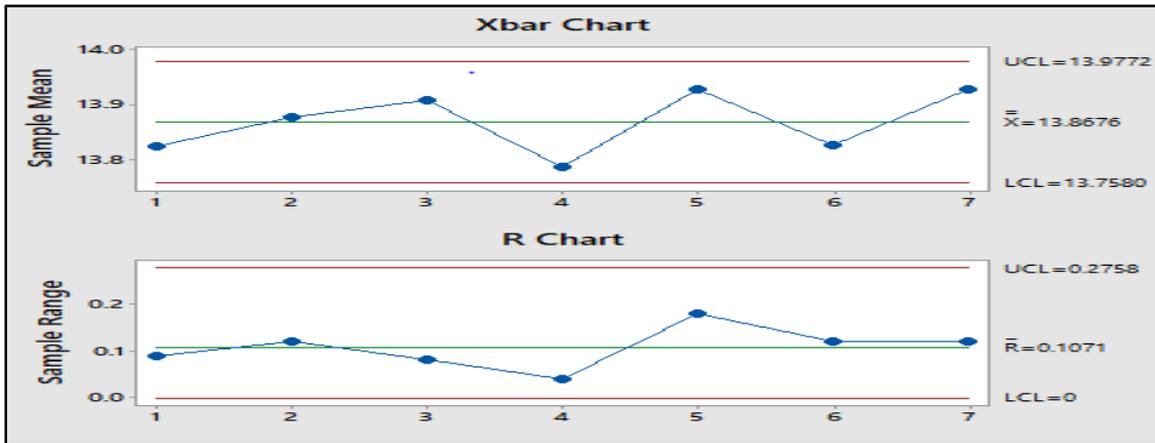


Figure 27 : carte de contrôle de moyenne et d'étendue pour l'azote.

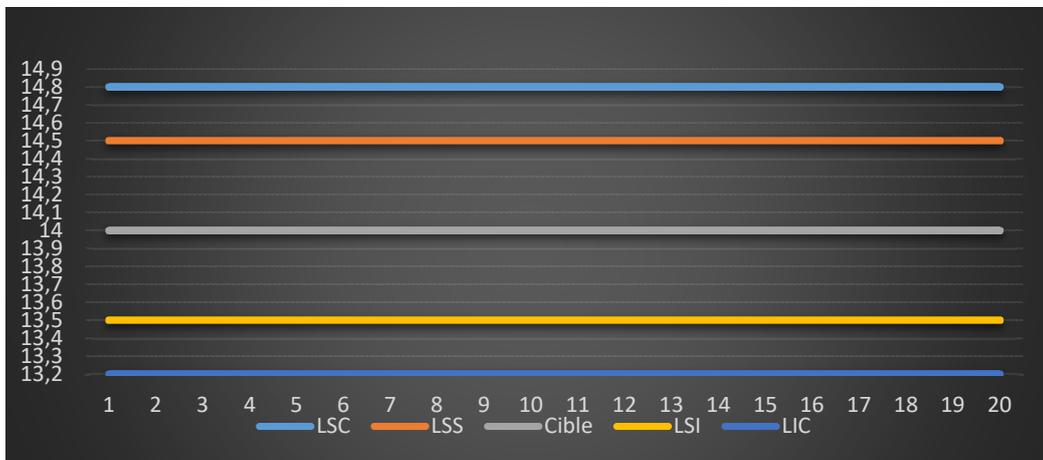


Figure 28 : Carte de suivi pour %N

Interprétation :

A partir ces cartes de contrôle on observe que les valeurs de mesure de la teneur de l'azote varient autour de la moyenne 13,86. La valeur cible souhaitée était 14, alors on est au-dessous de cette valeur, on justifie cette différence par la corrélation négative entre le titre l'azote et P_2O_5 (augmentation du titre P_2O_5 génère une diminution du titre N_2), malgré la moyenne de la teneur de l'azote n'atteint pas 14, elle appartient à la limite de spécification du client [13.5-14.5].

On propose de faire une carte de suivi du titre N_2 pour bien suivre le procédé de fabrication de l'azote.

CHAPITRE III

-Carte de contrôle (\bar{X} , R) pour P₂O₅



Figure 29 : Carte de contrôle de moyenne et d'étendue pour P₂O₅.

Interprétation :

D'après les résultats au-dessus on constate que les analyse de P₂O₅ son proche l'un des l'autre et limité entre les lignes de carte de contrôle (UCL, LCL), on conclue le procédé maitrisé.

-Carte de contrôle (\bar{X} , R) pour K₂O

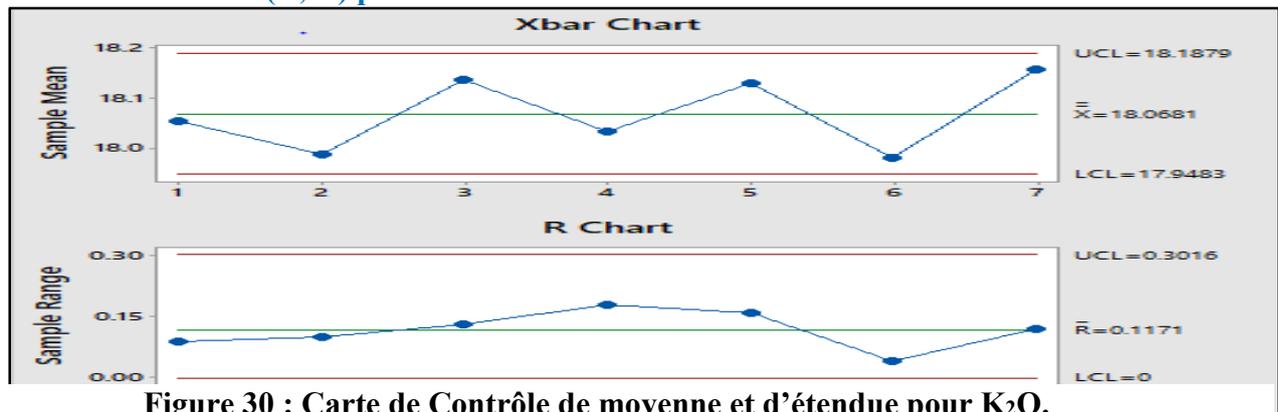


Figure 30 : Carte de Contrôle de moyenne et d'étendue pour K₂O.

Interprétation :

Les résultats d'analyse de K₂O stable et sous contrôle car les septes point situées entre limite supérieure de contrôle et limite inférieure de contrôle qui implique le processus et stable.

CHAPITRE III

-Carte de contrôle (\bar{X} , R) pour granulométrie [2-4]

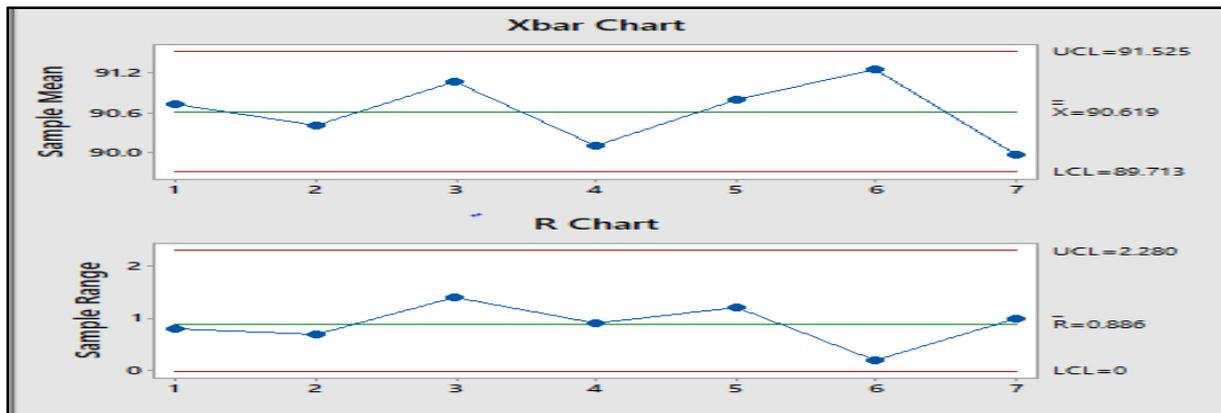


Figure 31 : carte de contrôle de la moyenne et d'étendue de granulométrie [2-4].

Interprétation :

D'après les résultats au-dessus nous remarquons que les sept point d'analyse de tranche granulométrie [2-4] sont proche l'un des l'autre et sous contrôle, qui signifié les exigences de client satisfait et atteindre son objective.

Conclusion :

On constate que le procédé est sous contrôle et stable.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce projet porte sur la réduction de la variabilité de la qualité NPK (14. 18. 18) grâce à l'utilisation de la démarche six-sigma qui se compose de cinq étapes (définir, mesurer, analyser, innover et contrôler).

Première phase définir, dans cette étape, nous avons défini le sujet ainsi que l'environnement où nous avons travaillé.

Deuxième phase mesurer, nous avons montré l'existence de la variabilité de la qualité NPK (14.18. 18), ensuite la capabilité du procédé de fabrication, enfin la maîtrise du système de la mesure.

Troisième phase analyser, le long de cette étape nous avons pu déterminer les causes racines probables, par la suite on a dégagé les facteurs les plus influençant sur les paramètres du NPK (14%N₂, 18%P₂O₅, 18% K₂O) et la granulométrie [2 – 4mm].

Quatrième phase innover et améliorer, à travers cette étape, nous avons déterminé les actions correctives contre le problème de la variabilité.

La dernière phase c'est le contrôle, durant cette étape on a suivi les actions correctives par des outils de qualité : carte de contrôle et check-list.

La totalité des étapes effectuées dans ce travail a bien montré la bonne réduction de la variabilité des paramètres de la qualité NPK (14.18.18), mais pour atteindre des meilleurs résultats il est recommandé d'augmenter le nombre des outils de qualité et statistique utilisés.

Bibliographie

[1] www.ocpgroup.ma.

[2] <http://tpe-engrais1.e-monsite.com/pages/i-les-engrais-et-leurs-utilisations.html>.

[3] Document interne (procédé manuel des engrais).

[4] Documents interne et historiques OCP.

[5] Youssef RAYADI, (2012). Six sigma outil de la performance industrielle. Thèse de Doctorat Maroc.

[6] www.support.minitab.com.

[7] Sandrine KARAM, (2004). Application de la méthodologie des plans d'expériences et de l'analyse de données à l'optimisation des processus de dépôt. Thèse de Doctorat France.

[8] <http://WWW.demarcheiso17025.com/fiche005.html>.

Annexe

Annexe 1 : Historique des paramètres de la qualité NPK (14.18.18) en 2018

Date	%N ₂	%P ₂ O ₅ SC+SE	%K ₂ O	Taille [2-4]	Date	%N	%P ₂ O ₅ SE + SC	%K ₂ O	Taille [2-4]
01/01/2018	13.06	17.89	18.23	88	13/04/2018	13.89	17.52	18.52	91
04/01/2018	14.23	19.02	18.24	88.67	14/04/2018	14.06	18.58	18.15	92
09/01/2018	14.54	19.03	17.52	89	15/04/2018	13.73	18.82	17.14	90
10/01/2018	13.74	19.04	18.6	87	16/04/2018	13.14	19.37	17.12	87
11/01/2018	14.09	19.29	18.14	92	17/04/2018	13.94	18.35	17.1	92
14/01/2018	13.71	19.64	16.79	89	18/04/2018	13.31	17.47	18.6	88
15/01/2018	14.11	19.18	18.3	88	19/04/2018	12.86	19.5	18.35	90
17/01/2018	13.76	18.38	17.36	89	20/04/2018	12.66	18.6	18.1	91
18/01/2018	13.86	18.76	17.85	87	22/04/2018	12.52	18.64	18.22	94
19/01/2018	13.21	18.17	17.3	90	24/04/2018	14.34	18.45	18.67	91
20/01/2018	13.85	17.45	17.85	91	25/04/2018	12.69	18.02	19.48	92
21/01/2018	14.73	17.31	19.25	90	26/04/2018	13.88	20	18.1	90
22/01/2018	13.71	18.55	18.22	88.67	27/04/2018	13.85	18.08	18.23	92
24/01/2018	14.28	18.36	17.45	91	28/04/2018	12.66	18.17	19.3	90
28/01/2018	13.76	18.08	18.97	89	29/04/2018	14.49	17.61	19.57	91
29/01/2018	14.41	17.2	18.23	89	30/04/2018	12.43	17.88	18.67	93
03/02/2018	14.74	18.15	17.75	92	01/05/2018	14.52	18.85	19.1	92
06/02/2018	13.74	18.87	17.93	89	02/05/2018	13.67	18.09	18.14	91
08/02/2018	13.3	18.27	16.86	90	02/05/2018	14.37	18.37	17.49	90
10/02/2018	14.6	17.54	17.88	89	08/05/2018	14.06	17.67	18.17	88
11/02/2018	12.35	18.64	17.92	92	13/12/2018	14.25	18.09	17.65	86
12/02/2018	12.77	17.05	17.86	91	13/12/2018	14.02	17.05	17.3	92
13/02/2018	13.92	18.95	18.35	88	13/12/2018	13.9	17.79	18.81	97
14/02/2018	13.25	17.66	18.05	91	14/12/2018	13.78	18.32	18.22	93
16/02/2018	14.36	18.48	17.7	91	17/12/2018	14.44	18.45	17.94	92
17/02/2018	13.35	17.24	17.16	88	19/12/2018	13.07	18.98	17.5	91.1
18/02/2018	13.85	18.65	17.12	88	20/12/2018	14.19	18.57	17.01	90.18
19/02/2018	13.85	17.74	18.94	92	21/12/2018	13.58	18.35	17.86	91.3
20/02/2018	13.85	19.1	17.32	88	22/12/2018	13.33	18.08	18.09	93.92
21/02/2018	12.84	19.19	19.3	86	23/12/2018	13.09	17.75	17.4	92.2
11/04/2018	13.46	17.08	19.51	92	24/12/2018	14.12	17.75	17.5	89.9
12/04/2018	14.18	18.55	18.35	87	25/12/2018	13.71	17.86	17.92	87

Annexe 2 : Tableau des données de l'azote N₂ de mois Avril.

Jours	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
1	13.92	13.86	13.84	14	13.9	13.96	14.02	13.82	14.08	13.84	14.04	14
2	13.99	14.1	13.78	13.77	13.76	13.92	13.96	13.88	13.94	13.86	14.14	13.82
3	13.88	13.76	13.96	13.92	14.04	13.96	13.92	14.02	13.98	13.85	14.12	13.88
4	13.95	13.86	13.9	13.94	13.86	14.06	13.92	13.91	13.94	13.9	13.96	14.04
5	13.9	13.92	14.06	13.84	14.08	14.03	13.82	14.05	13.96	14.04	13.92	14.04
6	14	13.9	13.86	14.01	13.85	13.9	14	14.16	13.78	13.87	13.78	13.82
7	14.08	13.98	13.76	13.9	14.01	13.82	13.92	13.86	13.96	13.92	14.2	13.96

8	13.84	14.12	13.96	13.94	13.8	13.86	14.02	13.82	13.91	13.94	13.86	14.06
9	14.06	13.94	14	13.94	13.86	13.92	13.84	13.94	14.02	13.84	13.8	13.86

Annexe 3 : Tableau des données de P₂O₅ de mois Avril.

Jours	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
1	17.98	18.05	18	18.04	18.21	18.26	18.28	18.24	18.22	18.12	18.12	18.06
2	18.18	18.16	18.2	18.21	18.26	18.15	18.08	18.2	18.24	18.12	18.16	18.22
3	18.16	18.14	18.1	18.2	18.26	18.24	18.28	18.22	18.14	18.12	18.02	18.04
4	18.12	18.1	18.21	18.16	18.18	18.14	18.11	18.06	18.1	18.12	18.04	18.1
5	18.24	18.2	18.16	18.08	18.13	18.16	18.05	18.02	18.18	18.14	18.1	18.13
6	18.28	18.16	18.12	18.14	18.11	18.08	18.02	18.13	18.37	18.28	18.24	18.2
7	18.12	18.1	18.34	18.3	18.24	18.18	18.14	18.04	18.08	18	17.9	18.02
8	18.28	18.26	18.22	18.14	18.18	18.14	18.12	18.24	18.27	18.28	18.25	18.24
9	18.3	18.31	18.3	18.42	18.4	18.44	18.3	18.38	18.32	18.28	18.34	18.36

Annexe 4 : Tableau des données de K₂O de mois Avril.

Jours	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
1	17.98	17.88	18	18.07	18.09	18.14	18.18	17.92	17.96	17.98	18.04	18.08
2	17.92	17.94	18.04	18.07	18.14	18.08	18	17.92	17.95	18.08	18.11	17.94
3	18.08	18.12	18.16	18.2	18.23	18.24	18.18	17.94	18.04	18.02	18.09	18.04
4	18.04	17.98	17.86	17.84	17.98	18.04	18.08	18.06	18.11	18.22	18.14	18.18
5	17.98	18.08	18.1	18.13	18.08	18.04	17.96	17.93	17.91	17.9	18.06	18.13
6	18.28	18.26	18.22	18.14	18.18	18.14	18.12	18.14	18.17	18.28	18.25	18.26
7	17.89	17.94	17.92	17.84	18.12	18.01	18.14	18.04	18.18	18.16	17.9	18.02
8	18.18	18.1	18.12	18.14	18.18	18.24	18.22	18.14	18.17	18.1	18.08	18.06
9	18.08	18.01	18.13	18.22	18.24	18.18	18.03	18.08	18.12	18.18	18.24	18.26

Annexe 5 : Tableau des données de la granulométrie [2-4] mm de mois Avril.

Jours	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
1	90.2	90.4	90.4	90.4	90.6	90.6	90.7	90.9	90.8	90.8	91.0	91.2
2	91.1	91.1	91.0	91.0	90.9	90.6	90.6	90.1	90.0	90.0	90.6	90.4
3	90.5	90.5	90.3	90.4	90.6	90.6	90.7	90.7	90.7	90.8	90.8	91.0
4	90.0	90.0	90.2	90.2	90.3	90.3	90.4	90.4	90.5	90.5	90.5	90.6
5	90.3	90.5	90.5	90.6	90.8	90.8	91.0	91.0	91.1	91.2	90.9	90.8
Jours	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24
1	91.2	91.3	91.3	90.8	90.8	90.6	90.4	90.4	90.4	90.2	90.2	90.0
2	90.1	90.1	90.2	90.2	90.5	90.5	90.8	90.9	90.9	90.4	90.4	90.3
3	91.0	91.1	91.2	91.2	91.4	91.4	91.5	91.5	91.1	91.1	90.7	90.7
4	90.6	90.7	90.7	90.7	90.8	90.8	90.9	90.9	90.7	90.8	90.9	90.9
5	90.8	90.5	90.4	90.4	90.7	90.6	90.6	90.6	90.7	90.9	91.1	91.0

z	W													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18	3.27	3.35	3.42	3.49	3.55
2	1.28	1.81	2.15	2.40	2.60	2.77	2.91	3.02	3.13	3.22	3.30	3.38	3.45	3.51
3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89	3.01	3.11	3.21	3.29	3.37	3.43	3.50
4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88	3.00	3.10	3.20	3.28	3.36	3.43	3.49
5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.78	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28	3.36	3.42	3.49
6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.49
7	1.17	1.73	2.09	2.35	2.55	2.72	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.42	3.48
11	1.15	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.71	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.26	3.34	3.41	3.48
>15	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.97	3.078	3.173	3.258	3.336	3.407	3.472

Annexe 6 : Tableau des valeurs de dz.

Annexe 7 : Tableau des données des mesures de P₂O₅ du NPK

Opérateur		Opérateur 1			Opérateur 2			Opérateur 3		
Répétition		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Echantillon	1	17.5	17.54	17.52	17.62	17.61	17.64	17.62	17.64	17.61
	2	18.26	18.24	18.28	17.99	18.04	18.02	18.16	18.14	18.16
	3	17.98	17.97	17.95	18.06	18.1	18.12	18	17.98	17.96
	4	17.98	17.94	17.96	17.94	17.94	17.91	17.88	17.92	17.91
	5	18.8	18.84	18.82	18.84	18.87	18.8	18.78	18.86	18.82
	6	18.22	18.21	18.24	18.11	18.18	18.16	17.89	17.94	17.92

Annexe 8: Tableau des données des mesures de K₂O du NPK

Opérateur		Opérateur 1			Opérateur 2			Opérateur 3		
Répétition		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Echantillon	1	18.1	18.14	18.12	18.26	18.25	18.28	18.24	18.26	18.23
	2	18.86	18.84	18.88	18.63	18.68	18.66	18.78	18.76	18.78
	3	19.4	19.44	19.42	19.48	19.51	19.44	19.4	19.48	19.44
	4	18.82	18.81	18.84	18.75	18.82	18.8	18.51	18.56	18.54
	5	18.58	18.57	18.55	18.7	18.74	18.76	18.62	18.6	18.58
	6	18.58	18.54	18.56	18.58	18.58	18.55	18.5	18.54	18.53

Annexe 9: Tableau des données des mesures de N₂ du NPK

Opérateur		Opérateur 1			Opérateur 2			Opérateur 3		
Répétition		1	2	3	1	2	3	1	2	3

Echantillon	1	14.76	14.8	14.78	14.78	14.81	14.74	14.71	14.79	14.75
	2	14.22	14.2	14.24	13.93	13.98	13.96	14.09	14.07	14.09
	3	13.94	13.93	13.91	14	14.04	14.06	13.93	13.91	13.89
	4	13.92	13.89	13.9	13.98	13.98	13.95	13.91	13.95	13.94
	5	13.46	13.5	13.48	13.56	13.55	13.58	13.55	13.57	13.54
	6	14.18	14.17	14.2	14.05	14.12	14.1	13.82	13.87	13.85

Annexe 10: Tableau des données des mesures de la granulométrie [2-4] mm du NPK

Opérateur		Opérateur 1			Opérateur 2			Opérateur 3		
Répétition		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Echantillon	1	90.4	90.6	90.6	90.5	90.4	90.2	90	90.2	90.1
	2	87.4	87.8	87.6	87.2	87.5	87.4	87.3	87.4	87.1
	3	89.6	89.8	90	90	90.4	90.1	89.8	90	90.1
	4	89	89.1	89.2	90.4	90.3	90.2	89.8	89.6	89.9
	5	91	91.3	91.2	91.3	91.2	91.6	91.4	91.2	91.4
	6	93.6	93.3	93.8	93.8	94.1	93.8	93.6	93.6	93.9

Annexe 11: Tableau des modalités des facteurs

Facteur	Modalité 1 (-)	Modalité 2 (+)
P ₂ O ₅ 29%	20%	25%
TS 29%	2	2.7
d° 29%	1215	1300
P ₂ O ₅ 54%	45%	49%
TS 54%	1.6	5
d° 54%	1609	1655
Débit NH ₃	10.5 m ³ /h	18.5 m ³ /h
Débit liquide de lavage	43 m ³ /h	70 m ³ /h
Débit H ₂ SO ₄	11 m ³ /h	17 m ³ /h
Débit H ₃ PO ₄ 54%	6.5 m ³ /h	9.5 m ³ /h
Débit KCl	18 t/h	38 t/h
T	114 C°	118 C°
d° bouillie	1125	1595
RM PN	1.2	1.4
Humidité	0.8%	1%
RM SAG	1.4	1.8

Annexe 15: Tableau de Domaine expérimental des titres

Notation	Facteur	Unité	Centre	Pas de variation	Umin	Umax
U1	P ₂ O ₅ 29%	%	22	3	19	25
U2	Débit NH ₃	m ³ /h	13	3	10.4	15.6
U3	Débit Liquide de lavage	m ³ /h	54	18	39.3	68.7
U4	Débit KCl	t/h	28	7	22.5	33.5
U5	Débit H ₂ SO ₄	m ³ /h	13	3	10.7	15.3
U6	d° Bouillie		1360	310	1123	1597

Annexe 16: Tableau de Domaine expérimental de la granulométrie [2-4] mm

Notation	Facteur	Unité	Centre	Pas de variation	Umin	Umax
U1	T	C°	116	2	114	116
U2	RM PN		1.3	0.1	1.2	1.4
U3	RM SAG		1.6	0.2	1.4	1.8
U4	Humidité	%	0.9	0.1	0.8	1
U5	d° Bouillie		1360	306	1123	1597

Annexe 23: Résultats des prélèvements de %N₂ du NPK

Jours	X1	X2	X3
1	13.86	13.77	13.84
2	13.81	13.89	13.93
3	13.92	13.94	13.86
4	13.8	13.8	13.76
5	13.82	14	13.96
6	13.76	13.84	13.88
7	14	13.88	13.9

Annexe 24: Résultats des prélèvements de %P₂O₅ SC+SC du NPK

Jours	X1	X2	X3
1	17.98	17.88	17.94
2	18.1	18.24	18.18
3	18.2	18	18.12
4	18.02	18.12	18.1
5	18.12	17.92	17.98
6	18.1	18.18	18.12
7	17.8	18.14	18.16

Annexe 25: Résultats des prélèvements de %K₂O du NPK

Jours	X1	X2	X3
1	18	18.07	18.09
2	18.04	17.94	17.98
3	18.21	18.12	18.08
4	17.94	18.04	18.12
5	18.06	18.11	18.22
6	18	17.98	17.96
7	18.1	18.15	18.22

Annexe 26: Résultats des prélèvements de la granulométrie [2-4] mm du NPK

Jours	X1	X2	X3
1	90.4	91.2	90.6
2	90.0	90.7	90.5
3	91.6	90.2	91.4
4	90.0	89.7	90.6
5	90.8	91.4	90.2
6	91.2	91.2	91.4
7	89.7	89.6	90.6

Les Mode Opératoires des Analyse effectuée au laboratoire : N₂, P₂O₅, k₂O, Granulométrie

Méthode d'analyse d'azote ammoniacal – méthode titrimétrique par distillation :

➤ Domaine d'application :

Engrais azotés.

➤ Réactifs:

- ✓ Hydroxyde de sodium à 0.2 N.
- ✓ Acide sulfurique à 0.2 N.
- ✓ Indicateur TASHIRO.

➤ Mode opératoire:

1. Essai à Blanc: Eau distillée.
2. Contrôle : 0.7 g d'un échantillon BIPEA.
3. Echantillon : Peser 0.7 g d'échantillon azoté.
 - a) Introduire la prise d'essai dans une Matra.
 - b) Introduire 50 ml d'acide sulfurique dans une erlenmeyer de 500 ml.
 - c) Ajouter quelques gouttes de TASHIRO.
 - d) Placer le Matra et l'erlenmeyer dans l'appareil de distillation.
 - e) Démarrer l'appareil de distillation.
 - f) Dosage.
 - ✓ Laver le tube.
 - ✓ Titrer en retour l'excès d'acide sulfurique 0.2 N avec la solution d'hydroxyde 0.2 N.

➤ Expression des résultats:

$$N \% = (V1-V2) - (V3-V4) * 0.002801 * 100 / PE$$

$$N \% = (V4 - V2) * 0.2801 / PE$$

Avec :

V1 : Volume d'acide sulfurique utilisé pour le dosage (50 ml)

V2 : Volume d'hydroxyde de sodium utilisé pour le dosage

V3 : Volume d'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc (50ml)
V4 : Volume d'hydroxyde de sodium utilisé pour l'essai à blanc
PE : masse de la prise d'essai

Dosage d'anhydride phosphorique soluble eau + citrate par colorimétrie :

➤ **Domaine d'application :**

Engrais de différentes teneurs MAP, DAP, NPK, NPS et TSP

➤ **Réactifs:**

- ✓ Dihydrogénophosphate de potassium (KH₂PO₄).
- ✓ Vanado-molybdique.
- ✓ Citrate neutre à PH = 7.

➤ **Mode opératoire:**

4. Essai à Blanc : Eau distillée.
5. MR : Peser 0.5g de KH₂PO₄ dans une fiole de 500 ml.
6. Echantillon de contrôle : 0.5 g dans une fiole de 500 ml.
7. Echantillon : Peser 0.5 g et transvaser dans une fiole de 500 ml. Et pour NPK (Peser 1g)
8. Ajouter :
 - g) 100 ml de citrate neutre à PH 7.
 - h) Placer dans un Bain marie à 60 °C +/- 5°C avec agitation Pendant 30 min.
 - i) Refroidir, Jauger et filtrer.
 - j) Prendre une aliquote de 5 ml dans une fiole à jauger de 100 ml.
 - k) Ajouter 25 ml de vanado-molybdique.
 - l) Laisser reposer 20 min.
 - m) Lire la concentration à 430 nm.

➤ **Expression des résultats:**

$$\%P2O5 = C_L/PE$$

Avec :

C_L : Concentration Lu au spectrophotomètre en mg/l.

PE : masse de la prise d'essai initial en gramme.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE.

-Elle se s'effectue au bout de chaque deux heures ou sous la demande du responsable de la ligne.

- Prélèvements d'échantillons :

-Prendre un échantillon d'environ 1 Kg de la jetée du T14 en réalisant une coupe horizontale de la tombée du produit.

- **Mode opératoire :**

- Faire le quartage de l'échantillon prélevé au moyen d'un diviseur à riffles, pour le but d'obtenir un échantillon représentatif d'environ 100g.

- Peser la prise d'essai représentative à l'aide une balance de précision et noter la pesé

- Programmer la balance pour une indication en %.

-Faire passer la prise d'essai par une série des tamis (6.30 mm - 5 mm - 4 mm - 3,15 mm - 2 ,5 mm - 2 mm - 1 mm).

- Peser chaque refus de tamis en cumulé, la balance indique automatiquement les pourcentages des refus pesés

N, B : En cas d'une balance ordinaire, il faut noter la pesé m de chaque refus de tamis en cumulé et calculer le % en masse à l'aide de la formule

$$\% = m.100/P.E$$

Analyse de K₂O par volumétrie

Elle s'effectue deux fois par heure ou à la demande du responsable de la ligne.

- Prélèvements des échantillons :

Pour l'NPK :

La prise d'essai est une masse d'environ 2.5g du produit broyé à partir de l'échantillon représentatif quarté.

Pour KCl :

La prise d'essai est une masse d'environ 2g du produit.

Mode opératoire :

Pour L'NPK :

- Peser une masse d'environ 2.5g au moyen de la balance de précision et noter la prise d'essai :(P.E)

- Mettre la PE dans une fiole de 500ml

-Ajouter environ 250 ml d'eau distillée.

-Agiter pendant 15min.

- Jauger la fiole à 500ml.

-Filtrer la solution.

-Pipeter 50ml de la solution filtrée.

- Ajouter 10cc de l'AgNO₃ (0.1N)

-Ajouter 5cc de l'alun ferrique.

- Titrer la solution par NH₄SCN (0.1N).

L'expression de résultats :

%K₂O= (10-Tb) 1,79

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

I. **Titre:** Application de la démarche Six Sigma à la réduction de la variabilité de la qualité de produit NPK (14.14.18) de ligne 107B l'OCP

Résumé

Notre projet de fin d'études proposé par la Direction de production des engrais, s'inscrit dans le but de réduire la variabilité des paramètres physico-chimiques de la qualité des engrais NPK (14.18.18), et trouver des solutions contre ce problème dans les nouvelles lignes plus précises la ligne 107B à Maroc phosphore II & IV site Jorf Lasfar.

Il convient de signaler que la démarche Six Sigma est un moyen essentiel dans l'industrie. L'étude expérimentale et les résultats obtenus ont montré l'amélioration des paramètres de la qualité des engrais NPK (14, 18, 18). Les paramètres que nous avons étudié à travers ce stage sont : Le titres : P_2O_5 SE+SC, N_2 . K_2O . La granulométrie [2-4] mm.

Mots clés: NPK, Tranche granulométrie, titres, Six Sigma, DMAIC, Plans d'expériences.

Abstract

As part of the end-of-studies project proposed by the Directorate of Fertilizer Production, the new more precise lines line 107 B at Maroc Phosphore III & IV Jorf Lasfar site, fits our work which aims to reduce the variability of physico-chemical parameters of the quality of NPK fertilizers (14, 18, 18), and find solutions against this problem.

It should be noted that the Six Sigma approach is an essential means in the industry. The experimental study and the results obtained showed the improvement of the quality parameters of the NPK fertilizers (14, 18, 18).

Key words: NPK, granulometric slice, titles, six sigma, DMAIC, plans of experiences

