



Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE DES PROCÉDES

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : .Génie des Procédés

Spécialité :Génie Chimique

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

### Thème:

Maitrise statistique des procédés. Cas : Engrais NPK (3×15)  
FERTAIL

**Présenté par :** Bouguerche Asma

SAIDI Sirine

**Encadrant :** *Guilane Sarra*

*MCB*

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

### Jury de Soutenance :

Moumeni Ouarda	MCA	UBMA	Président
Guilane Sarra	MCB	UBMA	Encadrant
Djerad Souad	Pr	Université	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023



## RESUME

Notre projet de fin d'étude vise à diagnostiquer, de manière fiable, le processus de fabrication des engrais de formule NPK 3x15 par les méthodes du traitement statistique, et ce, en utilisant le logiciel STATISTICA version 5.1. La Maîtrise Statistique des Procédés (MSP) est une méthode qui permet de rendre les processus de production capables et de permettre à la production de limiter la non-qualité et notamment les rebuts. Cette étude a été réalisée sur la base des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques suivants : le taux d'humidité, le pourcentage de N total et celui de N ammoniacal, le taux d'enrobage, la dureté, le pourcentage de K<sub>2</sub>O ainsi que le pourcentage de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Les interprétations des cartes de contrôle et les résultats d'analyse statistique élémentaire ; écart type, moyenne, coefficient de variation ; ont dévoilé une dispersion des valeurs de quelques paramètres autour de leur moyenne. Aussi, l'analyse des indices de capacité calculé a confirmé que le processus n'est pas fortement qualifié aux exigences relatives à une production efficace.

**Mots clés :** Engrais ; Fertilisants ; FERTIAL ; Maitrise statistique des procédés ; Contrôle de qualité ; Écarte type ; Exploitation statistique ; Statistique élémentaire ; Carte de contrôle ; NPK.



## **ABSTRACT**

Our study uses STATISTICA software version 5.1 to accurately diagnose the production process of , formula fertilizers. A technique called statistical process control (SPC) enables production processes to be competent and allows manufacturing to reduce non-quality, this study was conducted based on the examination of the following physicochemical characteristics: the rate of humidity, the percentage of total and ammoniacal nitrogen, the rate of coating, the hardness, the percentage of K<sub>2</sub>O, and the percentage of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Control chart interpretations and basic statistical analysis findings; mean, standard deviation, and coefficient of variation, showed that several parameter values were dispersed about their mean. Also, the analysis of the calculated capability indices confirmed that the process is not highly qualified to meet the requirements for efficient production.

**Key Words:** **statistical** process control, NPK 3 x 15, physicochemical characteristics, capability indices, Control chart, basic statistical analysis, Fertilizers.

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تشخيص عملية إنتاج الأسمدة التركيبية بدقة باستخدام الإصدار 5.1 من البرنامج الإحصائي STATISTICA. تتيح تقنية التحكم في العملية الإحصائية (SPC) أن تكون عمليات إنتاج كفاءة وتسمح للتصنيع بتحسين الجودة. قد أجريت هذه الدراسة بناءً على فحص الخصائص الفيزيائية والكيميائية التالية: معدل الرطوبة ونسبة النيتروجين الكلي والأمونيا. ومعدل التغليف والصلابة ونسبة  $K_2O$  ونسبة  $P_2O_5$ . تفسيرات مخطط التحكم ونتائج التحليل الإحصائي الأساسية؛ أظهرت أن العديد من قيم المعلمات مشتتة حول متوسطها. كما أكد تحليل مؤشرات القدرة المحسوبة أن العملية ليست مؤهلة بدرجة عالية لتلبية متطلبات الإنتاج الفعال.

الكلمات المفتاحية: التحكم الإحصائي في العمليات ،  $NPK 3 \times 15$  ، الخصائص الفيزيائية والكيميائية ، مؤشرات القدرة ، مخطط التحكم ، التحليل الإحصائي الأساسي.

## **DEDICACE**

Le succès n'est pas final,  
L'échec n'est pas fatal :

**C'est** le courage de continuer qui compte  
Je dédie ce modeste travail

**À Dieu** Le Tout Miséricordieux, ta miséricorde et Tes grâces à mon endroit m'ont  
fortifiée dans la persévérance et l'ardeur au travail.

### **À mon très cher père NAWRI.**

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne  
méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Ton soutien et Tes  
conseils fut une lumière dans tout mon parcours Ta patience sans fin, ta compréhension  
et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as  
toujours su m'apporte.

### **À ma très chère mère WAHIBA.**

Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu  
n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu  
as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait.  
J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi et réalisés aujourd'hui  
l'un de vos rêves.

**À mes frères :** SALAH, ADEM , MOUIZ

**À mes Amis :** MAISSA , MINA,NOJOD,RIM,NESRINE,GHADA ,NADA  
,HADIL,LOBNA,HANEN,MARWA

**Aux petits enfants :** HIBA, MIRO, MALAK ,NOUR.

**\_ASMA\_**

**DEDICACE**

Je dédie ce modeste travail

À celle qui a fait tous pour moi, à mon modèle de force et de tendresse, à celle qui me soutient sans cesse, qui m'a toujours accompagné et sauvé avec ses prières, qui m'a donné tout ce dont j'avais besoin.

**À ma chère mère SOUAD.**

À celui qui se sacrifie toujours pour nous, qui nous fait nous sentir en sécurité permanente, à la barrière solide qui nous protège des risques et des difficultés

**À mon cher père TAHER.**

À ceux qui me tient la main toute fois où j'en ai le plus besoin, à la joie du monde et la sécurité absolue :

**À mes frères : MOUAD et BARA**

**Et mes sœurs : AYA et DOUAA**

Et à tous les membres de la famille SAIDI

**À mes Amis : DJIHANE ET RAYANE**

**Que Dieu vous protège tous et soit satisfait de vous et vous satisfasse**

**\_ SIRINE \_**

## **REMERCIEMENTS**

Nous voulons avant tout remercier DIEU, sans lui le Tout puissant, le Très Miséricordieux rien de tout cela ne serait possible.

En second lieu, nous souhaitons remercier notre directrice de mémoire Madame **GUILANE Sarra**, Docteur à l'Université Badji Mokhtar – Annaba pour le temps conséquent qu'il nous a accordé durant la période de ce modeste travail, ses qualités pédagogiques et scientifiques.

Un grand merci aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail. Nous sommes certaines de pouvoir compter sur leurs vastes connaissances et leur esprit critique constructif.

Nous remercions l'ensemble des enseignants qui nous ont accompagnées tout le long de notre cursus de formation, ainsi que l'ensemble administratif du département de Génie des Procédés de l'UBMA.

Nous désirons en outre remercier toute personne venue de nous accueillir et aider au complexe FERTIAL durant la période de stage, notamment messieurs : les directeurs MOUSSAOUI et le chef de structure MOKHTARI Tarek, KERKOUR, Ahmed, le DRH BENDIR, l'équipe de laboratoire, le responsable de la bibliothèque KARIMA.

Enfin chaleureux remerciements à ceux que tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que nous leur portons, ni la profonde gratitude que nous leur témoignons pour tous les efforts et les sacrifices qu'ils n'avaient jamais cessé de consentir pour notre instruction et notre bien-être ; à nos familles respectives : **BOUGUERCH** et **SAIDI** .

## **TABLE DE MATIERE**

LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES TABLEAUX	3
INTRODUCTION GENERALE	5

### **PARTIE I**

#### **GENERALITES SUR LES ENGRAIS**

INTRODUCTION	8
I.GENERALITES SUR LES ENGRAIS	8
I.1.HISTORIQUE	8
I.2.DEFINITION DES ENGRAIS	9
I.3.COMPOSITION DES ENGRAIS	10
I.4. LES DIFFERENT FORME DES ENGRAIS	11
I.5. TYPES D'ENGRAIS	12
I.5.1. Les engrais organiques	12
I.5.2. Les engrais minéraux	12
I.5.3. Les engrais organo-minéraux	13
I.6. ROLE DES ENGRAIS	14
I.7. APPLICATION DES ENGRAIS	14
I.8.LES EFFETS DES ENGRAIS SUR L'ENVIRONNEMENT	15
II. LES ENGRAIS NPK	16
II.1. DEFINITION DES ENGRAIS NPK	16
II.2. L'UTILITE DES ENGRAIS NPK	16

II.3. LES DIFFERENTS TYPES D'ENGRAIS NPK	16
II.4. UTILISATIONS DES ENGRAIS NPK	17
II.5. AVANTAGE	17
CONCLUSION	18
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE LA PARTIE I	19

## **Partie II**

### **MAITRISE STATISTIQUE DE LA QUALITE**

INTRODUCTION	21
I.1. LA QUALITE	21
I.1.1. Définition	21
I.2. LE CONTROLE DE QUALITÉ D'UN PRODUIT INDUSTRIEL	21
I.2.1. Définitions	21
I.2.2. LABORATOIRE DE CONTROLE INDUSTRIEL	21
I.2.3. DIFFERENTS TYPES DE CONTROLES	22
II. CONTROLE STATISTIQUE DE QUALITE DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE	22
II.1. Définitions	22
II.2. PROCESSUS	23
II.3. LES DIFFERENTS OUTILS STATISTIQUES	24
II.3.1. Les outils statistiques élémentaires (calcul de la moyenne, écart-type, variance, intervalle de confiance ...)	24
II.3.2 . Plans d'expériences	25
II.3.3 . La loi normale (ou de Gauss)	25
II.3.4. Carte de Contrôle	26
II.3.4.1 Intérêt et Domaines d'applications	27

II.3.4.2 Différentes cartes de contrôles	27
II.3.5. Indice de capabilité	28
II.3.5.1. Intérêt et Domaines d'applications	29
II.3.5.2. Le calcul des différents indices de capabilité	29
CONCLUSION	30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE LA PARTIE II	31

### **PARTIE III**

#### **PROCEDES DE FABRICATION DES ENGRAIS NPK**

INTRODUCTION	33
III.PRESENTATION DE FERTIAL- ANNABA	33
III.1. PROCEDE DE FABRICATION DES ENGRIS NPK.	35
III.1.1. Préparation de la matière première	36
III.1.2. Préparation de la bouillie	37
III.1.3. Granulation	39
III.1.4. Séchage	40
III.1.5. Classification	40
III.1.6. Refroidissement	41
III.1.7. Enrobage	42
III.1.8. Recyclage	44
III.1.9. Stockage	44
III.1.10. Dépoussiérage et lavage des gaz	45
III.2.CONTRÔLE DE QUALITE D'ENGRAIS NPK	45
CONCLUSION	46

## **PARTIE IV**

### **EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION**

INTRODUCTION	48
IV.1. LES RESULTATS D'ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ETUDIE	48
IV.2. EXPLOITATION STATISTIQUE DES RESULTATS	49
IV.3. STATISTIQUE ELEMENTAIRE	50
IV.4. INDICE DE CAPABILITE	51
IV.5. CARTES DE CONTROLE	53
CONCLUSION	59
CONCLUSION GENERALE	60

**LISTE DES ABREVIATION**

NPK : engrais azoté phosphaté potassique ;

SSP : phosphate super simple ;

TSP : triple super phosphate ;

X : la moyenne ;

$\sigma$  : l'écart-type ;

V : la variance ;

CV : coefficient de variation ;

R : l'étendu ;

LC : limite d'action (control limite en anglais) ;

UCL : limite supérieure de contrôle ;

LCL : limite inférieure de contrôle ;

LS : limite de spécification ;

LSS : limite supérieure de spécification ;

LIS : limite inférieure de spécification ;

LA : Limite d'alerte ;

CP : indice de capabilité de procédé ;

CPK : minimum de CPS et CPI ;

CPS : indice de capabilité à la limite supérieure ;

CPI : indice de capabilité à la limite inférieure ;

N.TOT : l'azote totale ;

N.Amm : l'azote ammoniacale ;

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Sol. Eau : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Soluble Eau ;

%H<sub>2</sub>O : pourcentage d'humidité.

## **LISTE DES FIGURES**

### **PARTIE I**

#### **GENERALITES SUR LES ENGRAIS**

Figure I.1 : Forme d'engrais

### **Partie II**

#### **MAITRISE STATISTIQUE DE LA QUALITE**

Figure II.1 : Carte de control

Figure II.2 : les applications des différents de cartes de contrôle

### **Partie III**

#### **Procédés de fabrication des engrais NPK**

Figure III.1: Vue générale du complexe Fertial

Figure III.2 : Processus générale fabrication des engrais NPK.

Figure III.3: Mélangeur pour la préparation de la bouillie

Figure III.4: Cuves primaire et secondaire.

Figure III.5: Granulateur

Figure III.6: Tube sécheur

Figure III.7 : Scalper.

Figure III.8 : Tamis vues de l'extérieur et de l'intérieur respectivement.

Figure III.9: Refroidisseur

Figure III.10 :Bac d'huile d'enrobage

Figure III.11: Enrobeur du produit fini.

Figure III.12: Stockage de l'huile d'enrobage.

Figure III.13: Produit de recyclage

Figure III.14: Tapis de recyclage.

Figure III.15: Transport des engrais finis

Figure III.16: Hall de stockage.

## **PARTIE IV**

### **EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION**

Figures IV.1 : Carte de contrôle du paramètre : H<sub>2</sub>O%.

Figures IV.2 : Carte de contrôle du paramètre : N .TOT%.

Figures IV.3 : Carte de contrôle du paramètre :N amm.

Figures IV.4 : Carte de contrôle du paramètre : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Tot.

Figures IV.5 : Carte de contrôle du paramètre : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Sol.

Figures IV.6: Carte de contrôle du paramètre : K<sub>2</sub>O%.

Figures IV.7 : Carte de contrôle du paramètre : PH.

Figures IV.8: Carte de contrôle du paramètre : enrobant.

Figures IV.9 : Carte de contrôle du paramètre : dureté.

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **PARTIE I**

#### **GENERALITES SUR LES ENGRAIS**

Tableau I.1 : Les quantités N, P, K dans certains engrais organiques

Tableau.I.2 : Les quantités N, P, K dans des engrais chimique

Tableau I.3: Doses généralement recommandée

### **Partie II**

#### **MAITRISE STATISTIQUE DE LA QUALITE**

Tableau II.1 : Indice de culpabilité

### **Partie III**

#### **Procédés de fabrication des engrais NPK**

Tableau III.1: contrôle de qualité d'engrais NPK

### **PARTIE IV**

#### **EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION**

Tableau IV.1 : Tableau de données de 20 analyses de produit fini

Tableau IV.2 : Spécification des paramètres physicochimiques

Tableau IV.3 : Les outils statistiques : moy, écart type, CV

Tableau IV.4 : Les indices de capabilité

Tableau IV.5: Comparaison entre les données dans cette étude

## **INTRODUCTION GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le sol constitue l'un de principale ressource naturelle dont dépend fortement l'humanité. Dans une certaine mesure les bons sols dépendent de l'usage que l'homme en fait. En effet, les sols constituent le milieu naturel sur lequel croissent les plantes. Si la réserve alimentaire des plantes et pour assurer les éléments peussaire il faut aouté des engrais.

Les engrais sont des substances, le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux, destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs de façon à améliorer leur croissance et augmenter le rendement et la qualité des cultures .L'action consistant à apporter un engrais s'appelle la fertilisation. Parmi les engrais le plus utiliser et le plus connu et qui est riche en éléments fertilisant on trouve l'engrais NPK (azote, phosphore, potassium) Il permet d'apporter aux végétaux les nutriments dont ils ont besoin, parfois absents des différents substrats ou présents en trop faible quantité. Le trio << NPK >> constitue la base de la plupart des engrais vendus de nos jours.

La statistique est à la fois une science formelle, une méthode et une technique. Elle comprend la collecte, l'analyse, l'interprétation de données ainsi que la présentation de ces ressources.

L'analyse des données est un Ensemble des méthodes permettant la description de tableaux d'observations statistiques sans faire intervenir aucune hypothèse sur l'origine de ces observations.

Pour cette raison nous propose ce travail qui est composé de 4 parties :

La première partie contient une étude bibliographique dans laquelle les engrais seront définis de manière générale par l'historique de leur utilisation, leurs types, leurs rôles,... etc ; il y aura ensuite une étude sur les engrais complexes (NPK) qui sont l'objet de notre travail.

Dans la deuxième partie, nous présentons des études théoriques de contrôle statistique des processus et leurs applications à la gestion de la qualité et des risques. A cet effet, nous avons divisé cette partie en deux parties, la première partie est consacrée

au contrôle qualité, aux définitions, aux caractéristiques et à leurs types, la seconde partie traite des différentes méthodes statistiques.

Dans la troisième partie, nous allons nous intéresser à la partie dite pratique que nous avons réalisé dans l'entreprise FERTIAL. Nous commencerons d'abord par une brève présentation de ce complexe au sein du quel nous avons effectué un stage de 15 jours, puis, nous expliquerons le processus de fabrication des engrais NPK (3×15) au niveau de l'unité avec les détails nécessaires concernant les paramètres et les étapes opératoires en les illustrant avec des photos que nous avons prises sur place et la présentation du matériels utilisés pour le contrôle de qualité du produit fini.

Et la quatrième partie , nous allons analyser le fonctionnement du processus de production des engrais NPK 3x15 à travers une étude statistique par le logiciel STATISTICA basée sur des tableaux et des données, pour notre cas on a pris les données de 15 jours.

Et en termine avec une conclusion générale.

**PARTIE I**  
**GENERALITES SUR LES ENGRAIS**

## **INTRODUCTION**

Au départ, pour contribuer à la fertilité des sols, l'homme utilisait des déchets animaux, humains et végétaux. Par la suite, les engrais chimiques ont été apparus puis ont été rejoints par des produits de synthèse pour permettre un meilleur rendement des sols.

Les engrais sont des substances, le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux, destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance, et à augmenter le rendement et la qualité des cultures. L'action consistant à apporter un engrais s'appelle la fertilisation. Les engrais font partie, avec les amendements, des produits fertilisants. La fertilisation se pratique en agriculture et lors des activités de jardinage. Les engrais furent utilisés dès l'Antiquité, où l'on ajoutait au sol, de façon empirique, les phosphates des os, calcinés ou non, l'azote des fumures animales et humaines, le potassium des cendres.

Dans ce premier chapitre, nous allons, donner une définition des engrais, un bref historique, leurs rôles ainsi que leurs bénéfices. Il y aura ensuite une étude sur les engrais phosphatés et les engrais complexes (NPK) qui sont l'objet de notre travail.

## **I. GENERALITES SUR LES ENGRAIS**

### **I.1. HISTORIQUE**

Les engrais (ou engrais agricoles) sont définis comme des substances naturelles ou industrielles qui fournissent à la plante les éléments nutritifs nécessaires à sa croissance, son développement et l'augmentation de sa production. Selon leur source, les engrais sont classés en deux grandes catégories : les engrais organiques (naturels), et les engrais chimiques (industriels). Les engrais naturels comprennent les résidus animaux et végétaux, tandis que les engrais chimiques sont préparés à partir de matières minérales et chimiques dans des usines spécialisées, préparées à cet effet, Comme l'azote, par exemple), ou les engrais composés qui contiennent plus d'un élément à la fois, comme l'azote et le phosphore (NP). , ou l'azote et le potassium (NK), ou l'azote, le phosphore et le potassium ensemble (NPK) (ce sont les plus populaires et les plus largement utilisés en agriculture). Ces engrais peuvent également être liquides, solides ou gazeux. En fonction de la quantité nécessaire à la plante de divers nutriments, ces éléments sont divisés en éléments majeurs ou majeurs, qui sont nécessaires par la plante en grande quantité, et des éléments mineurs ou mineurs, dont la plante a besoin en plus petite quantité, mais

qui sont également nécessaires. Les principaux nutriments comprennent neuf composés : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre, le magnésium et le calcium. Quant aux microéléments, ils comprennent le fer, le manganèse, le bore, le chlore, le cuivre, le zinc et le molybdène. La plante tire ses besoins en carbone, en oxygène et en hydrogène de l'air et de l'eau. Par conséquent, ces éléments ne sont pas considérés comme des engrais chimiques au sens littéral ou industriel du terme, étant donné qu'ils constituent ensemble près de 90 % du poids sec de la plante. S'il est urgent d'apporter le reste des éléments du sol (notamment l'azote, le phosphore et le potassium), ces éléments représentent le principal nerf de l'industrie des engrais agricoles dans le monde.

À travers les âges, l'homme a utilisé des méthodes efficaces qui contribuent à rétablir l'équilibre nutritionnel du sol et à enrayer l'épuisement de ses éléments nutritifs, comme les systèmes de semis (1) par exemple et les cycles agricoles (2). Là où le principe de percolation repose sur le fait de cultiver le sol pendant une saison ou plus, puis de le laisser une saison ou plus sans culture (bora) pour permettre à la matière organique et aux organismes végétaux et animaux de s'accumuler et de se décomposer, d'enrichir à nouveau le sol parce que ce a été pris du sol retourne au sol et ce qui a été pris de l'air retourne à l'air. Quant aux cycles agricoles, ils dépendent de la diversification ou de l'alternance de la culture de certaines espèces végétales différentes [1].

## **I.2.DEFINITION DES ENGRAIS**

Les engrais sont des composés chimiques qui donnent au sol l'élément fertilisant dont il a besoin. Ces éléments peuvent exister naturellement dans le sol ou y sont apportés artificiellement sous différentes formes :

- Sous une forme stable dans la solution du sol : ces engrais sont presque immédiatement utilisés par la plante.
- Sous forme de cations ou d'anions échangeables fixés par le complexe absorbant du sol : Ces ions sont progressivement mis à la disposition de la plante.

Les engrais sont donc des substances organiques ou minérales, ils apportent aux plantes des compléments nutritifs, contribuant à l'augmentation du rendement et à la qualité des cultures, ils sont majoritairement composés de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) [2].

### **I.3.COMPOSITION DES ENGRAIS**

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

- Éléments fertilisants secondaires : le calcium ; le magnésium ; le soufre et le sodium.
- Oligo-éléments : bore ; chlore ; molybdène et le zinc. Les oligo-éléments : ils participent à faible dose à la nutrition des végétaux (quelques centaines de grammes à quelques kilogrammes par hectare). Au-delà d'une certaine concentration ; ils deviennent toxiques pour les plantes.
- Élément fertilisant majeurs : l'azote le phosphore et le potassium :
  - ✓ L'azote est l'élément fondamental de la matière vivante qui est également l'un des principaux constituants de la chlorophylle.
  - ✓ Le phosphore favorise la croissance et le développement de la plante, ainsi que la rigidité des tissus et la résistance aux maladies.
  - ✓ Le potassium participe à la synthèse des protéines et accroît la résistance de la plante aux parasites.

La combinaison de plusieurs éléments (azote, phosphore et potassium) est plus efficace pour les plantes que l'action de chaque élément utilisé seul. Ces éléments se trouvent à l'état naturel sous formes de phosphate, nitrates et différents sels de potassium. Ils ne sont généralement pas directement utilisables comme engrais, c'est la raison pour laquelle l'industrie prépare toute une gamme d'engrais chimiques. [2].

### **I.4. LES DIFFERENT FORME DES ENGRAIS**

Les engrais mis à la disposition des agriculteurs diffèrent par leur formulation (solide ou liquide) mais surtout par leur composition.

Certains ne sont composés que d'une seule forme d'azote. C'est le cas de l'urée (100 % N uréique), de l'ammoniac anhydre (100% NH<sub>3</sub>) et du nitrate de potassium (100% N nitrique).

Mais la plupart des engrais ont des formules mixtes. Leur composition influence grandement la disponibilité de l'azote pour les cultures. En effet, les formes ammoniacale, nitrique et uréique, se transforment à des vitesses variables, déterminées par l'activité microbiologique du sol.

- L'urée subit une hydrolyse pour prendre la forme ammoniacale. Celle-ci peut être adsorbée et retenue temporairement sur le complexe argilo-humique du sol ou utilisée par les micro-organismes du sol qui sont alors en compétition avec la plante.
- La forme ammoniacale peut aussi évoluer rapidement vers la forme nitrique dès que la nitrification est active dans un sol chaud, aéré et humide.
- La forme nitrique est entièrement libérée dans la solution du sol et alimente préférentiellement la plante [3].



**Figure I.1** : Forme d'engrais

## **I.5. TYPES D'ENGRAIS**

En général, les engrais se divisent en deux types : les engrais organiques et les engrais chimiques (engrais inorganiques) et organo -minéraux.

### **I.5.1. Les engrais organiques**

Produits composés essentiellement de matières carbonées d'origine végétale, animale ou microbienne contenant au moins 10 % de matière organique ainsi que les substances suivantes :

Au moins 3 % de macroéléments au total, ou moins 0,005 % de deux ou plusieurs oligo-éléments, Ils peuvent aussi être synthétisés (urée par exemple).

**Tableau I.1 : Les quantités N, P,K dans certains engrais organiques.**

Engrais	% N	%P	%K
Fumier de vache	0.4	0.1	0.4
Fumier de bœuf	0.6	0.1	0.7
Fumier de cheval	0.6	0.1	0.5
Fumier de porc	0.4	0.1	0.5
Fumier de poule	1.0	0.4	0.6
Fumier de lapin	2.4	0.5	0.05
Fumier de chauve-souris	10.0	13.0	2.0
Déchets	1.0	1.0	1.0
Cendre de bois	0.0	0.5	10.0

### 1.5.2. Les engrais minéraux

Produits dont les éléments nutritifs sont obtenus par extraction ou par des procédés industriels physiques et/ou chimiques, ou sont contenus sous forme de sels minéraux, ainsi que les substances cyanamide calcique, cyanamide; urée et ses produits de condensation et d'association, tels que :

**Tableau I.2 : Les quantités N, P, K dans des engrais chimiques.**

Engrais	%N	%P	%K
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	20.5	0	0
$\text{NaNO}_3$	15.0	0	0
$\text{NH}_2\text{CONH}_2$	46.0	0	0
$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	11,0	48,0	0
$\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$	7.0	40.0	6.0
$\text{K}_2\text{SO}_4$	0	0	48.0
$\text{KNO}_3$	0	0	46.0

Il existe 2 types d'engrais minéraux : les engrais simples et les engrais composés ; Dans ces cas les teneurs exprimés en (%) massique dont la formule s'écrit dans l'ordre %N ; %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; % K<sub>2</sub>O.

- **Les engrais minéraux simples**

Engrais qui ne contiennent qu'un macroélément, à raison d'au moins 3%, ou ne contiennent qu'un macroélément, à raison d'au moins 3 %, combiné avec du potassium, du magnésium ou du soufre comme ion d'accompagnement.

**Par exemple :**

\_ Le simple superphosphate SSP (18% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

\_ Le triple superphosphate TSP (45% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

- **Les engrais minéraux composés (engrais NPK, NP, NK, PK)**

Engrais qui contiennent au moins deux ou trois éléments fertilisants majeurs, à raison d'au moins 3% ou contiennent un élément fertilisant majeur et du calcium, du magnésium, du soufre ou du sodium ne servant pas uniquement d'ion d'accompagnement (au total au moins 3 % de ces éléments).

**Par exemple :**

- Le phosphate mono-ammoniaque : MAP (11%azote, 55%phosphore et 0%potassium) .

- Le phosphate di-ammoniaque : DAP (18%azote, 46%phosphore et 0%potassium) .

- Le sulfo phosphate d'ammonium : ASP (19%azote, 38%phosphore et 0%potassium).

### **1.5.3. Engrais organo-mineraux**

Ces des mélanges d'engrais organiques et d'engrais minéraux et/ou d'amendements minéraux contenant au moins 10% de matière organique ainsi que les substances suivantes : au moins 3 [2].

## **I.6. ROLE DES ENGRAIS**

Les engrais stimulent la croissance des plantes en leur apportant les éléments nutritifs nécessaires. On utilise les engrais de fond pour nourrir le sol à l'automne ou en hiver. L'engrais pour nourrir les plantes sera apporté à la plantation ou en cours de culture.

En clair l'engrais est un élément essentiel du jardinage qui améliore la croissance des éléments vivants naturels du jardin. Ce sont ces différents éléments de composition

qui ensemble crée un effet booster qui donne à vos plantations un épanouissement optimal.

Aide à la reproduction et à la propagation des organismes vivants Microéléments dans le sol. Aide à la décomposition rapide du chaume sur le terrain. Aide à retenir l'eau dans les sols légers. Il aide les plantes à absorber des éléments tels que l'azote et le phosphore potassium, fer et zinc [5].

## **I.7. APPLICATION DES ENGRAIS**

Généralement, les engrais sont incorporés au sol, mais ils peuvent aussi être apportés par l'eau d'irrigation. Cette dernière technique est employée aussi bien pour les cultures en sol, traditionnelles, que hors sol, sur un substrat plus ou moins inerte, tel que terreau, tourbe, laine de roche, perlite, vermiculite, etc. Une autre technique particulière, la culture hydroponique, permet de nourrir les plantes avec ou sans substrat. Les racines se développent dans une solution nutritive, eau plus engrais, qui circule à leur contact. La composition et la concentration de la solution nutritive doivent être constamment réajustées.

Dans certains cas, une partie de la fertilisation peut être réalisée par voie foliaire, par pulvérisation. En effet, les feuilles sont capables d'absorber des engrais, s'ils sont solubles, et si la surface de la feuille reste humide assez longtemps. Cette absorption reste toutefois limitée en quantité. Ce sont donc plutôt les oligo-éléments qui peuvent être ainsi apportés, compte tenu des faibles quantités nécessaires aux plantes.

Sur des sols acides, on peut procéder au chaulage pour augmenter le pH. Cette mesure augmente l'efficacité des engrais en favorisant l'assimilation par les plantes des éléments nutritifs présents dans le sol.

Les engrais doivent être utilisés avec précaution. Il est généralement suggéré d'éviter les excès, car au-delà de certains seuils les apports supplémentaires, non seulement n'ont plus aucun intérêt économique [5].

## **I.8. LES EFFETS DES ENGRAIS SUR L'ENVIRONNEMENT**

L'utilisation des engrais entraîne deux types de conséquences qui peuvent comporter des risques sanitaires (atteinte à la santé de l'homme) ou des risques environnementaux (dégâts sur les écosystèmes).

Le risque sanitaire le plus connu est celui relatif à la consommation d'eau riche en nitrate, résultant de la fertilisation azotée, par le nourrisson.

Le risque environnemental le plus cité est celui de la pollution de l'eau potable ou de l'eutrophisation des eaux, lorsque les engrais, organiques ou minéraux, répandus en trop grande quantité par rapport aux besoins des plantes et à la capacité de rétention des sols, qui dépend notamment de sa texture, sont entraînés vers la nappe phréatique par infiltration, ou vers les cours d'eau par ruissellement.

Un risque environnemental moins cité, et pourtant très important lui aussi, est la contribution au réchauffement climatique, due aux fortes émissions, après épandage, d'oxydes d'azote, notamment le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), qui est un puissant gaz à effet de serre, à fort potentiel de réchauffement global et à durée de résidence élevée (de l'ordre de 100 ans).

Plus généralement, les conséquences de l'utilisation des engrais, qui peuvent comporter des risques et qui sont soumises à la critique, sont les suivantes :

- Effets sur la qualité des sols, leur fertilité, leur structure, l'humus et l'activité biologique ;
- Effets sur l'érosion ;
- Effets liés au cycle de l'azote et à la toxicité des nitrates dans l'eau potable ;
- Effets liés à la dégradation des engrais inutilisés, qui émettent des gaz à effet de serre, oxydes d'azote (protoxyde d'azote  $N_2O$  et  $N_2O_4$ ), dans l'atmosphère ;
- Effets liés au cycle du phosphore ;
- Effets liés aux autres éléments nutritifs : potassium, soufre, magnésium, calcium, oligo-éléments ;
- Effets liés à la présence de métaux lourds : cadmium, arsenic, fluor, ou d'éléments radioactifs, significativement présents dans les phosphates, et dans les lisiers de porc par les métaux lourds ;
- Effets sur les parasites des cultures ;
- Eutrophisation des eaux douces et marines ;
- Effets sur la qualité des produits ;
- Pollution émise par l'industrie de production des engrais ;
- Utilisation d'énergie non renouvelable ;
- Épuisement des ressources minérales ;
- Effets indirects sur l'environnement, par la mécanisation pour l'agriculture intensive, et les épandages [6].

## II. LES ENGRAIS NPK

### II.1. DEFINITION DES ENGRAIS NPK

A partir des matières premières : le nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), l'acide phosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) et le sulfate de potassium ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), l'atelier d'engrais NPK est capable de produire un grand nombre d'engrais complexes différents.

Chaque formule d'engrais est caractérisée par sa teneur en unités fertilisantes exprimées sous la forme générale NPK dans laquelle :

- N est le poids en kg d'azote (N) pour 100 kg d'engrais ;
- P est le poids en kg de phosphore (P) pour 100 kg d'engrais ;
- K est le poids en kg de potassium (K) pour 100 kg d'engrais.

La somme de ces trois valeurs (N + P + K) est toujours inférieure à 100 kg car les engrais complexes comportent toujours un certain poids de matières non fertilisantes appelées inertes ou ballast. Plus cette somme est élevée et plus l'engrais est riche. Ainsi, par exemple, la formule (18.48.0) contient 66 unités fertilisantes et est plus riche que la formule (12.12.12) qui n'en contient que 36 [7].

### II.2. L'UTILITE DES ENGRAIS NPK

Les engrais NPK, en plus d'assurer croissance et santé à la plante, veillent aussi à compenser les carences éventuelles observées sur les parcelles ou jardins avant ou pendant la culture. Ils apportent les substances nutritives essentielles [8].

### II.3. LES DIFFERENTS TYPES D'ENGRAIS NPK

Les engrais NPK se décomposent en deux familles : les engrais composés et les engrais simples. Pour les engrais composés, ils assemblent deux ou trois des éléments NPK et proposent une couverture complète. Néanmoins, nous vous conseillons de toujours associer aux engrais NPK des engrais organiques, afin d'obtenir des apports nutritifs complémentaires.

Les engrais simples sont souvent composés d'un seul des trois éléments NPK. On les utilise uniquement pour des cas précis de carences sur un élément chimique choisi [9].

## II.4. UTILISATIONS DES ENGRAIS NPK

Le NPK 15 15 15 peut être utilisé sur toutes cultures, au moment de la plantation, au semis et en couverture [2].

**Tableau I.3:** Doses généralement recommandée

Culture	Dose Qx/Ha
Pomme de terre	20
Pastèque	20
Melon	15
Poivron	14
Tomate	12
Oignon	12
Chou-fleur, Artichaut	10
Haricot, petit pois	7.5

## II.5. AVANTAGE

Le NPK 15 15 15 est doté d'un pouvoir acidifiant grâce aux éléments qui le composent (acide phosphorique, azote ammoniacal et sulfate de potasse). Tous ces éléments ont un pH très bas, ils concourent à acidifier fortement la rhizosphère, à libérer et à faciliter l'assimilation des éléments nutritifs. L'équilibre de la formule est bien adapté aux exigences de toutes les cultures maraîchères (pomme de terre, pastèque, tomate, poivron, melon...) [2].

## CONCLUSION

Les engrais sont des produits organiques ou minéraux, épandus sur la terre pour améliorer la nutrition des plantes, Ils existent dans le but de fertiliser le sol et accroître

les rendements. Dans cette partie nous avons mis le point sur Les engrais ; leur historique, composition, formes, rôle, application, effets et utilisations.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE LA PARTIE I**

- [1] :Moustafa Khaled ,Chief Editor of Arabic Science Archive (arabxiv.org),2018 .
- [2] : SAYOUD Alaediddine, SAYOUDE Nabile, Contrôle de la qualité d’engrais NPK aux niveaux du complexe Fertial, Institut National Spécialisé de la formation Professionnelle SKIKDA – Mouhamed Bouguera-Cité Merdji-Eddib-SKIKDA, 2018.
- [3] : les defferent forme des engrais de site web : <https://azote.info/nutrition-et-azote/les-differentes-formes-d-engrais.html> , visité le 09/03/2023.
- [4] : Rôle des engrais de site web : <https://konyaseker.com.tr › detay › ..>, visité le 10/03/2023.
- [5] :Application des engrais de site web : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Engrais-page-3.html>, visité le 10/03/2023.
- [6] : Les effets des engrais sur l'environnement de Site web : <http://dspace.univ-tebessa.dz>, visité le 11/03/2023.
- [7] : S.A. KREBS et CIE, Instructions de contrôle de l’atelier de fabrication d’engrais NP et NPK de PRAHOVD, « Procédé Pechiney Saint Gobin », 59-61, Rue Pouchet, 75-Paris (17ème), le 10 mai 1968.
- [8] : L'utile des engrais NPK de site web : <https://wikiagri.fr/articles/les-engrais-npk-definition-et-utilisation/19465/>,visité le 11/03/2023.
- [9]  Les différents type des engrais NPK de site web : <https://legrowshop.com/blog/fertilisant-npk-engrais/>, visité le 11/03/2023.

**Partie II**  
**MAITRISE STATISTIQUE DE LA QUALITE**

## INTRODUCTION

Le contrôle des processus est un élément essentiel du système de gestion de la qualité. Il fait référence au contrôle des activités liées aux processus de manipulation et d'analyse des échantillons afin de produire des résultats justes et fiables. La gestion des échantillons, et tous les processus de contrôle qualité font partie du contrôle des processus. Le but du contrôle qualité est de détecter, d'évaluer et de corriger les erreurs dues à un défaut du système d'analyses, des conditions de l'environnement ou des conditions d'exécution de processus.

### I.1. LA QUALITE

#### I.1.1. Définition de la qualité

La qualité d'après l'ISO (international standard organisation) ISO 8402, 1994, définit le terme Qualité comme étant "L'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou implicites". La notion de qualité se réfère au travail bien fait. La production industrielle met ensuite en avant la notion de conformité. Cette conformité à des références techniques et vérifiée par des contrôles [1].

### I.2. LE CONTROLE DE QUALITÉ D'UN PRODUIT INDUSTRIEL

#### I.2.1. Définitions

Le Contrôle Qualité est une composante du contrôle des processus et un élément majeur du système de gestion de la qualité. En plus du contrôle de la maîtrise et la conformité du processus de fabrication, le contrôle qualité permet de contrôler les processus liés à la phase analytique. De cela, il permet de détecter les erreurs du système d'analyse. Ces erreurs peuvent être dues à un défaut du système d'analyse, des conditions environnementales défavorables ou à la mauvaise exécution par l'opérateur. Le CQ permet au laboratoire d'être confiant dans l'exactitude et la fiabilité de ses résultats [1].

#### I.2.2. Différents types de contrôles

Il existe plusieurs types de contrôle :

**Le contrôle préventif** : Le contrôle préventif permet de s'assurer que toutes les conditions et tous les paramètres nécessaires pour le fonctionnement de l'entreprise sont

réunis. Entamé avant le lancement du processus de l'action, le contrôle préventif examine les dispositions mises en place.

**Le contrôle correctif :** Le contrôle correctif se fait essentiellement à la fin d'un cycle ou d'une étape de la production. Au regard des résultats atteints et des normes établies dans le plan, le gestionnaire apporte les corrections qu'il juge indispensables pour mieux accomplir, durant l'exercice en cours ou pour la prochaine, les objectifs arrêtés. Cependant, intervenant seulement à la fin d'un processus d'action, le contrôle correctif peut parfois venir trop tard ou s'avérer coûteux ou inefficace [2].

## **II. CONTROLE STATISTIQUE DE QUALITE DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE**

### **II.1. DEFINITION**

Le mot "statistiques" implique que nous avons affaire à des chiffres, et plus précisément, nous avons affaire à des chiffres pour en tirer des conclusions.

Le mot « qualité » ne signifie pas seulement à quel point un produit est bon ou mauvais. Il s'agit des caractéristiques de l'objet ou du processus étudié.

Le mot « contrôle » signifie que nous gardons quelque chose dans une certaine plage ou que nous faisons en sorte que quelque chose se comporte comme nous le voulons.

Lorsque ces trois mots sont réunis, le contrôle statistique de la qualité appliqué aux opérations de fabrication signifie que nous étudions les caractéristiques du processus pour qu'il se comporte comme nous le souhaitons.

Le mot « processus » tel qu'il est utilisé ici peut avoir diverses significations [3].

### **II.2. PROCESSUS :**

Un processus est un ensemble de conditions, ou un ensemble de causes, qui agissent ensemble pour produire un résultat donné. Sur un site de fabrication, nous pensons naturellement à des séries qui aboutissent, par exemple, à la production de câbles, de tubes électroniques, de relais, de commutateurs et d'autres équipements. Toutefois, comme le mot "processus" signifie simplement un système de causes, un processus peut être beaucoup plus simple ou beaucoup plus complexe que ceux que nous

venons d'évoquer. Le "processus" que nous choisirons d'étudier dans le contrôle statistique de la qualité pourra être :

- Une personne, ou un simple geste fait par une personne ;
- Un équipement de test ;
- Une méthode de mesure ;
- Une méthode d'assemblage ;
- Une tâche administrative ;
- Une machine ou un organe ;
- Un groupe de machines ;
- Un groupe de personnes (par exemple le personnel d'un atelier) ;
- Une combinaison de personnes, de machines, de matériaux, de méthodes, etc. ;
- Une méthode de fabrication, par exemple traitement chimique ;
- Une activité mentale ;
- Des éléments humains immatériels, par exemple attitudes, motivations et aptitudes ; etc.

Au sens le plus étroit du terme, un "processus" est l'action d'une seule cause. Au sens le plus large, c'est l'action d'un "système de causes" qui peut être très compliqué. C'est pourquoi il est possible de faire des "études de capabilité des processus" concernant pratiquement tous les types de problèmes d'ingénierie, de production, d'inspection ou de management.

## **II.3. LES DIFFERENTS OUTILS STATISTIQUES**

### **II.3.1. Les outils statistiques élémentaires (calcul de la moyenne, écart-type, variance, intervalle de confiance ...)**

Dans le cadre d'un «système qualité», la moyenne, l'écart-type, le CV ou l'étendue permettent de surveiller en permanence le bon fonctionnement d'appareils de mesure, la fiabilité des résultats, le degré d'incertitude, la stabilité d'une fabrication et d'enregistrer les variations de la qualité de ceux-ci au cours du temps. Les principaux paramètres statistiques utilisés sont : les Paramètre de position et les paramètre de dispersion [1].

➤ **Paramètre de position**

✓ **Moyenne (m)**

La moyenne d'un ensemble de n résultats est la somme des Résultats divisée par n.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

Avec :

$x_n$  : résultat de l'échantillon de contrôle

n : nombre de résultats

✓ **Médiane**

La médiane est un paramètre de position, qui permet de couper la population étudiée en deux groupes contenant le même nombre d'individus.

✓ **Mode**

- Valeur la plus fréquente d'une distribution.
- Dans le cadre d'une distribution Gaussienne (Loi Normale), la moyenne, la médiane et le mode sont confondus.

➤ **Paramètre de dispersion**

- ✓ **Ecart-type (ET), (SD, Standard Déviation)** : L'écart-type quantifie "de combien" les valeurs numériques sont proches les unes par rapport aux autres (Distribution des valeurs autour de la moyenne) et est utilisé pour estimer la précision du système de test ou de la mesure.

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

Pour des valeurs avec une distribution normale, une valeur tombe dans la gamme :

- + 1 S, 68.2% du temps
- + 2 S, 95.5% du temps
- + 3 S, 99.7% du temps

✓ **Variance = Coefficient de variation (CV %)**

Paramètre statistique indiquant la dispersion des valeurs au niveau de la moyenne (m) d'une série de mesures. Mesure de la dispersion de résultats calculée en divisant l'écart-type par la moyenne et en reportant le résultat sous forme de pourcentage .

$$CV = (ET \div \bar{X}) 100$$

Tels que : ET : écart type = S.      (X) : moyenne

✓ **Etendue :**

Différence entre la plus petite et la plus grande des valeurs observées.

$$R_t = \max_j(Y_{tj}) - \min_j(Y_{tj})$$

### II.3.2. Plans d'expériences

Un plan d'expérience consiste en la mise en œuvre organisée d'un ensemble d'unités expérimentales de manière à révéler les effets de différents traitements. Avec les plans d'expériences, on obtient le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences.

### II.3.3 . La loi normale (ou de Gauss)

La loi normale ou de Gauss est un test qui permet de comparer une caractéristique expérimentale (un effectif brut), à une valeur théorique. Ce test est adapté aux variables « nominales », et qui impliquent une relation d'équivalence (satisfait, non-satisfait, etc...). Mais, il existe aussi d'autres méthodes également puissantes, qui traitent des variables « ordinales », et qui sont très adaptables à des cas particuliers.

**Le test Kolmogorov-Smirnov :** à la différence du  $\chi^2$ , le test **Kolmogorov-Smirnov** est le test des variables ordinales. C'est surtout un test d'ajustement d'une distribution. Cette épreuve permet de vérifier s'il existe une concordance entre une distribution de notes « observées », et une distribution « théorique » en utilisant les tables de K S.

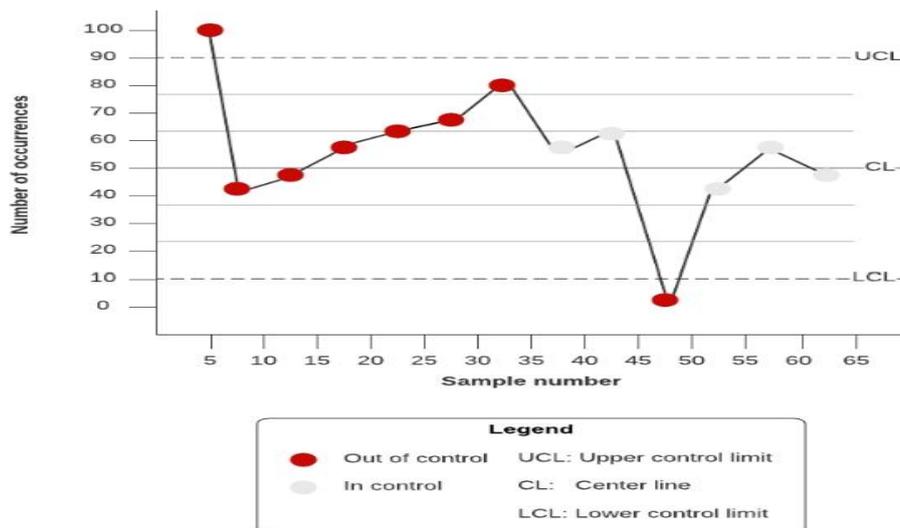
### II.3.4. Carte de Contrôle

Une carte de contrôle - parfois appelée carte de Shewhart, carte de contrôle statistique de processus ou carte SPC - est l'un des outils graphiques généralement utilisés

dans l'analyse du contrôle de la qualité pour comprendre comment un processus évolue dans le temps.

**Les principaux éléments d'une carte de contrôle sont les suivants :**

- Un graphique de séries chronologiques illustrant des points de données collectées à des intervalles de temps spécifiques.
- Une ligne de contrôle horizontale pour visualiser plus facilement les variations et les tendances.
- Des lignes horizontales, représentant les limites supérieures et inférieures de contrôle, placées à égale distance au-dessus et au-dessous de la ligne de contrôle. Ces valeurs sont calculées à partir des données enregistrées sur le graphique de séries chronologiques sur une période de temps donnée.



**Figure II.1 : Carte de contrôle**

Les cartes de contrôle permettent de surveiller la fabrication en s'assurant que les caractères contrôlés restent stables ou conformes aux spécifications, compte tenu d'une certaine variabilité inévitable. Les cartes de contrôle vérifient et examinent le processus de fabrication [1].

### II.3.4.1 Intérêt et Domaines d'applications

Les cartes de contrôle présentent de multiple intérêts, car elles permettent de :

- Avoir une image du déroulement du processus de fabrication et d'intervenir rapidement et à bon escient sur celui-ci.
- S'assurer de la conformité de l'instrument entre deux étalonnages.
- Anticiper les dérives de l'instrument.
- Optimiser les périodicités d'étalonnage et donc les coûts.
- Améliorer la connaissance de l'instrument.
- Calculer un écart-type de « reproductibilité intra-laboratoire » pouvant être utilisé pour la validation des méthodes et l'estimation des incertitudes.
- Identifier rapidement les points hors contrôle.

#### **II.3.4.2 Différentes cartes de contrôles**

Suivant le type de la caractéristique contrôlée, nous nous intéresserons dans le domaine pharmaceutique aux deux types de contrôle :

- contrôle par mesure.
- contrôle par attribut.

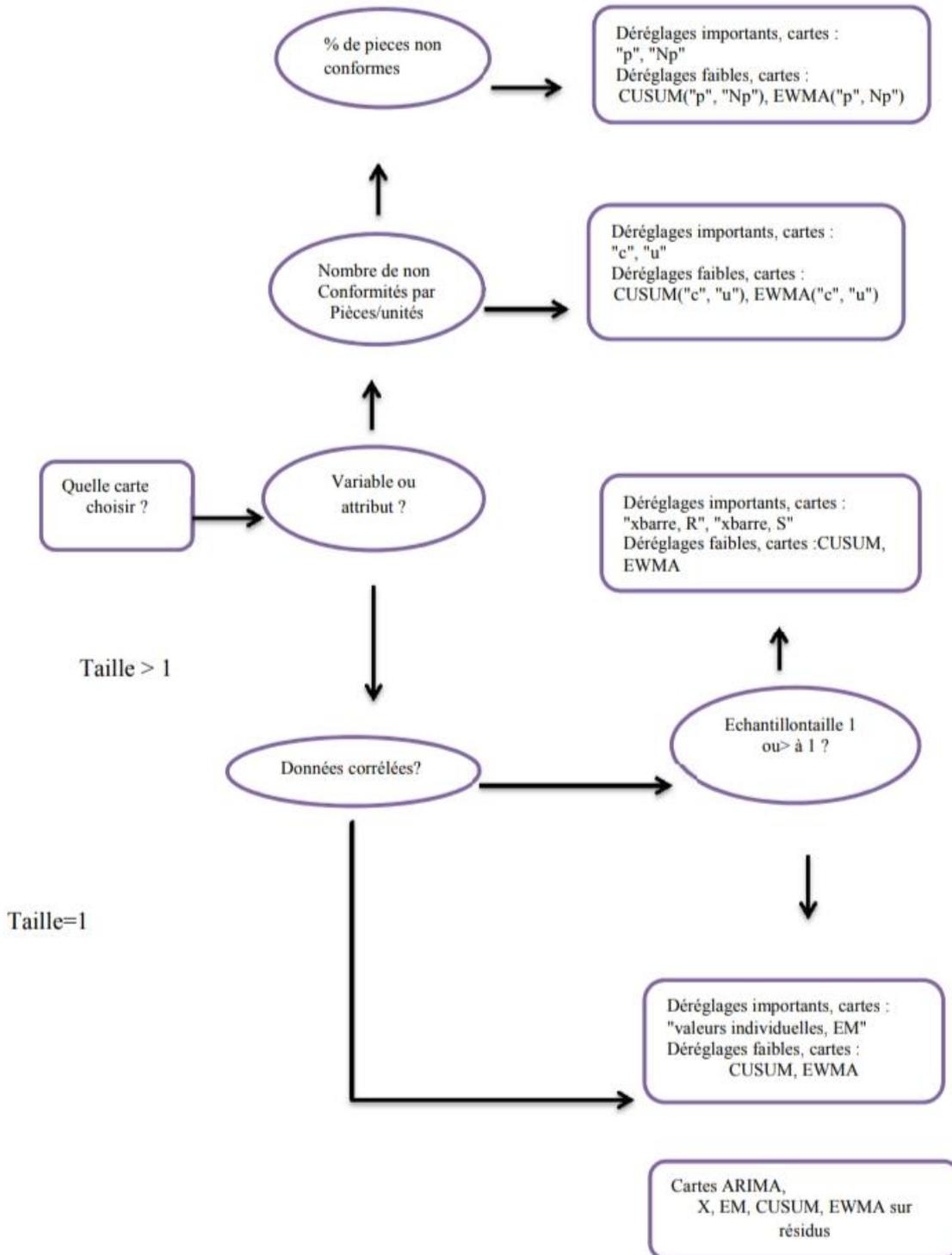


Figure II.2 : les applications des différents de cartes de contrôle

### II.3.5. Indice de capabilité

Avant de placer un procédé sous contrôle, il est nécessaire de vérifier qu'il est capable de réaliser la caractéristique contrôlée (dans notre cas les caractéristiques sont le dosage et le taux de dissolution) en respectant les tolérances .

### II.3.5.1. Intérêt et Domaines d'applications

Pour vérifier cette capabilité on peut calculer un indice de capabilité. il en existe plusieurs indices de capabilité : Les conditions de mesure diffèrent pour ces indices.

- ★ **Les indices de capabilité machine (Cm et Cmk) (court terme)** : mesurent la capabilité machine uniquement, c'est-à-dire qu'on ne prend en compte que la machine. Cela implique que les mesures sont faites de manière à ne prendre en compte que la variabilité aléatoire de la machine (pas de changement d'opérateur, de matières, pas de réglage).

**Equation de calcul :**

$$Cm = IT / 6 \sigma \quad Cmk = \min [(x - Ti) / 3\sigma; (Ts - x) / 3\sigma]$$

Dont :

IT : Intervalle de tolérance

$\sigma$  : Ecart type

X : moyenne

Ts : tolérance supérieure

Ti : tolérance inférieure

**Application :** Etude de performance de la machine indépendamment des autres facteurs.

- ★ **Les indices de capabilité procédée (Cp et Cpk) (long terme)** :

Ils peuvent se réaliser sur une période de temps plus importante et prend en compte le procédé global (machine, main-d'œuvre, matériel, milieu) . Dans notre cas on calcule l'indice de capabilité procédée. **Application:** Etude de performance de l'ensemble des facteurs du processus de fabrication .

### II.3.5.2. Le calcul des différents indices de capabilité

$$CIP = \mu - LIS / 3\sigma \quad CSP = LSS - \mu / 3\sigma \quad CPK = \min (CSP, CIP) \quad CP = LSS - LIS / 6\sigma$$

Dont,

- $\mu$  : moyenne
- $\sigma$  : écart type
- LSS : limite supérieur de spécification
- LIS : limite inférieur de spécification

L'Indice de capacité relève l'aptitude d'un processus à respecter des spécifications, à atteindre en permanence le niveau de la qualité souhaité. Il donne également le rapport entre la dispersion du processus (sa variabilité) et la plage entre les tolérances. On considérera un procédé de fabrication acceptable à partir de  $CP \geq 1.33$  [1].

### Tableau . indice de culpabilité

Tableau II.1 : indice de culpabilité

Indice de capacité	Interprétations
$Cp > 1,33$	<b>Capabilité idéale, à maintenir</b>
$1,33 > Cp > 1$	<b>Capabilité trop juste:</b> une dérive peut Apparaître
$1 > Cp > 0,67$	<b>Capabilité insuffisante:</b> Augmentation des contrôles et mise en place d'une démarche d'amélioration.
$0,67 > Cp$	<b>Capabilité très insuffisante:</b> Analyse immédiate des causes, révision des tolérances, actions correctives.

## CONCLUSION

Au cours de cette partie, nous avons présenté des généralités sur le contrôle de la qualité et la maitrise statistique des procédés. L'objectif était de montrer l'importance des méthodes statistiques appliquées à la qualité et à la gestion des risques. La gestion par statistique améliore les productions de masse et aide à découvrir les causes entraînant des erreurs de production.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE LA PARTIE II**

**[1]** : SARAoui SARAH , Exploitation statistique des données de fabrication et de contrôle qualité d'une forme sèche à libération immédiate , Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou , 2014 .

**[2]** : Les différents types de site web : [http://www.petiteentreprise.net /p-2467-136-G1-les different types-de-contrôle-html](http://www.petiteentreprise.net/p-2467-136-G1-les-different-types-de-contrôle-html), Visité le 23 /03/2023

**[3]** : Jean-MARIE, manuel du contrôle statistique de la qualité, gogue,2012

## **PARTIE III**

### **PROCEDES DE FABRICATION DES ENGRAIS NPK**

## **INTRODUCTION**

Pour notre travail de fin d'étude, nous avons fait un stage de 15 jours au sein de l'entreprise FERTIAL ou nous étions dirigées selon notre thème à l'unité de production des engrais NPK ainsi au laboratoire intégré de contrôle de qualité.

Dans cette partie nous allons décrire brièvement le complexe FERTIAL. Nous allons par la suite montrer le procédé de fabrication des engrais NPK (3×15) d'un point de vue pratique dès l'arrivée des matières premières jusqu'à l'opération finale de stockage suivi par la présentation du matériels utilisés pour le contrôle de qualité du produit fini.

### **III.PRESENTATION DE FERTIAL- ANNABA**

C'est en 1967 que fut décidée par la SONATRACH la construction d'un complexe d'engrais phosphatés à Annaba. Les unités de production d'acide sulfurique et phosphorique et d'une gamme d'engrais sont entrées en production en 1972, ainsi que certaines utilités industrielles venant en appui. Ce complexe a connu une extension en 1982 avec l'installation d'unités d'acide nitrique, de nitrate d'ammonium et de tripolyphosphate de soude (STPP). En 1975, fut créé le complexe d'engrais azotés avec la participation de Creusot-Loire Industrie, Krebs (France) et Kellogg (US) entré en production en 1984. S'agissant de l'unité d'ammoniac Kellogg, elle est entrée en production en 1987. Avec la restructuration des entreprises publiques en 1984, toutes les unités de ce complexe sont entrées en portefeuille sous la nouvelle entité ASMIDAL qui deviendra société par action en 1996. Les unités d'acide sulfurique et l'acide phosphorique ont été reconverties et démantelées, dédiées à la production d'engrais super simple phosphate (SSP). La mise en exploitation est intervenue au cours de l'année 2000. Trois ans plus tard, la fabrication d'urée ammonitrate (UAN) a démarré. Avec les réformes économiques engagées par le gouvernement algérien, un accord de partenariat a été conclu entre ASMIDAL et le groupe espagnol Villar Mir. Ainsi est né Fertial (Figure 1). Dans cet accord, le Groupe Villar Mir détient 66% et ASMIDAL 34 %. Depuis cette date, Fertial a engagé plus 100 millions de dollars pour la réhabilitation et la modernisation de l'unité d'Annaba.

FERTIAL, fertilisants d'Algérie, est une société issue d'un partenariat signé en août 2005 entre le groupe algérien Asmidal et le groupe espagnol Villar Mir. FERTIAL dispose

d'un tissu industriel très dense s'étendant sur une superficie de 153 hectares. Elle utilise des technologies modernes avec des processus de fabrications complexes propres de chaque produit. Ces processus assurent un rôle fonctionnel de haut niveau.



**Figure III.1** : Vue générale du complexe Fertial

**Les unités de FERTIAL** L'usine d'Annaba s'étend sur une superficie de 103 hectares et emploie environ 800 personnes.

- L'unité d'ammoniac : avec une capacité de production annuelle de 330000 tonnes;
- L'unité d'acide nitrique : avec une capacité de production annuelle de 264000 tonnes ;
- Le nitrate d'ammonium : sous formes liquide et solide ;
- Le nitrate de calcium (CAN) à 27 % d'azote : avec une capacité de production annuelle de 300000 tonnes ;

- L'unité d'engrais NPK :

Les engrais phosphatés simples (TSP), les engrais complexes binaires et ternaires (NPK) et le sulfazote à 26 % d'azote : avec une capacité annuelle de 300000 tonnes ;

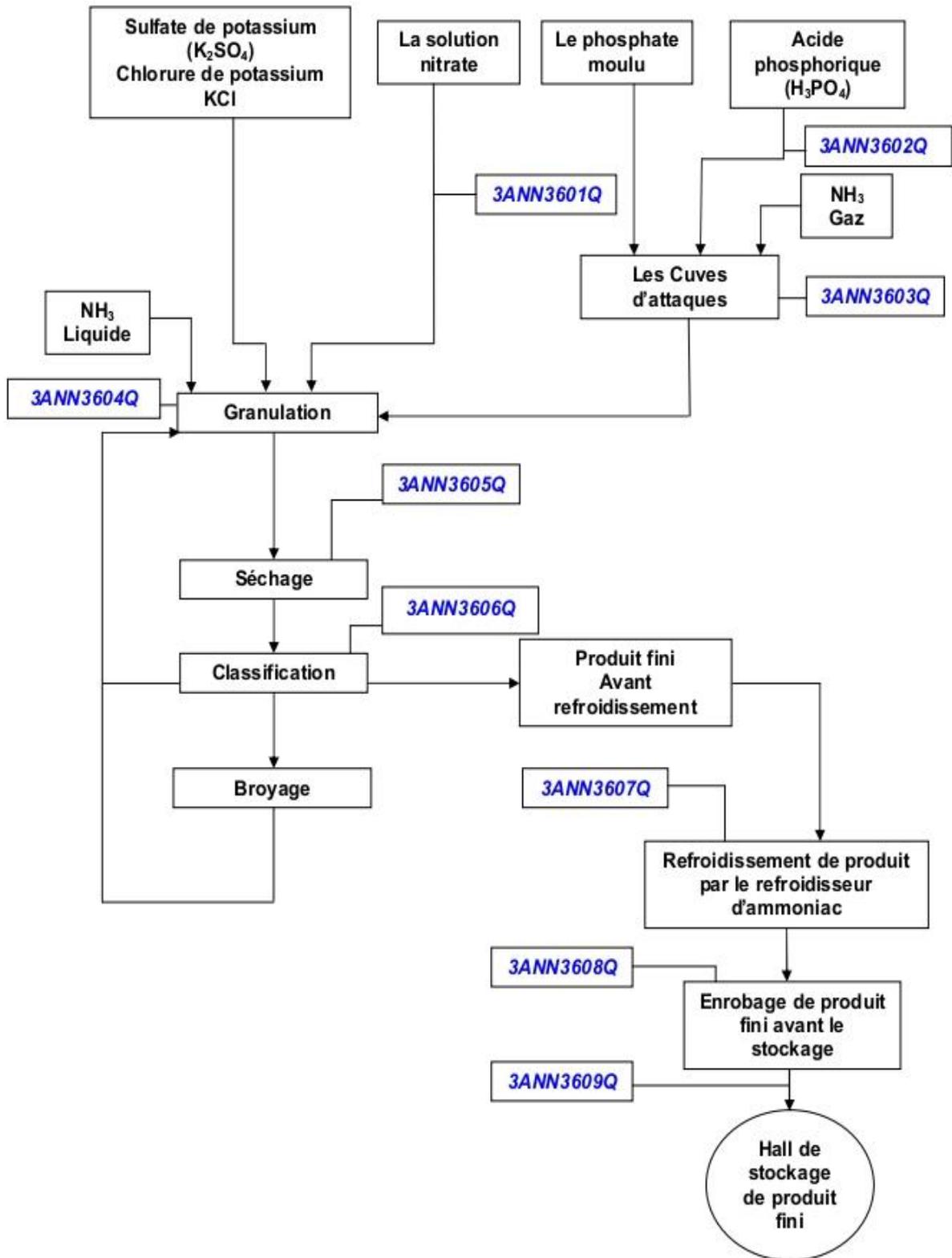
Les engrais phosphatés simples (SSP) : avec une capacité de production annuelle de 264000 tonnes.

### **III.1. PROCEDE DE FABRICATION DES ENGRIS NPK**

La fabrication d'engrais NPK consiste à produire une bouille à partir d'acide phosphorique ; et d'ammoniac dans deux cuves d'attaque et à granuler le produit de recyclage et les matières premières, Ces derniers sont convenablement dosés. Le produit fini est enrobé avant expédition au stock.

L'unité d'engrais est composée de plusieurs sections, à savoir :

- Préparation de la matière première ;
- Préparation de la bouillie ;
- Granulation ;
- Séchage du produit ;
- Classification et broyage du produit ;
- Refroidissement;
- Enrobage
- Recyclage;
- Stockage du produit fini ;
- Dépoussiérage et lavage des gaz ;



**Figure III.2:** Processus générale fabrication des engrais NPK.

### III.1.1. Préparation de la matière première

Les matières premières utilisées pour la fabrication des NPKs (3x15) sont :

- Le sulfate de potassium ( $K_2SO_4$ ) ;
- L'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) ;
- Phosphate broyé ou acide concentré (reçu avec une concentration de 52 % et dilué à 48 %) ;
- Solution nitrate ( $NH_4NO_3$ ), ou produit équivalent ;
- L'ammoniac ( $NH_3$ ) ;
- L'enrobant ;
- Le ballast.

**Le phosphate :** Un taux de phosphate allant de 80 à 95 % est broyé et passe au tamis de 80 microns, et est stocké dans des silos à phosphates d'une capacité de 1200 tonnes, alimentant directement les cuves d'attaque.

**La potasse ( $K_2SO_4$ ) et (KCl) :** Il est important de savoir la teneur en  $K_2O$  dans le produit, après analyse au laboratoire. Le  $K_2SO_4$  est utilisé pour la fabrication des NPKs et le KCl est utilisé pour la fabrication du NPKcl.

**L'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) :** L'acide phosphorique réceptionné est de 52 % de concentration massique en  $P_2O_5$ , mais son utilisation pour la fabrication des NPKs, NPKcl doit descendre à la concentration de 48 %, par addition d'une quantité d'eau. La densité de l'acide dilué est de 1540. Pour la fabrication de TSP (0.45.0), on doit descendre la concentration à 40 %, par l'addition d'une quantité d'eau, la densité d'acide dilué est de 1400.

**La solution nitrate :** Le contrôle de la concentration et de pH est important, la concentration de la solution nitrate utilisée est de 92 % et la densité est de 1400. La solution nitrate est utilisée pour la fabrication de NPKcl, NPKs, sauf le NPKs (4.20.25) et le sulfazote.

**L'ammoniac :** Il est utilisé sous forme gazeuse au niveau des cuves d'attaques, et au niveau du bac de la solution chaude (neutralisation de la solution chaude, si le pH est inférieur à 5,5, et pour maintenir le pH de la bouillie entre 4 et 4,5), et sous forme liquide

au niveau du granulateur.

### III.1.2. Préparation de la bouillie

L'étape de la préparation de la bouillie comporte les opérations suivantes :

1. Le mélange au préalable de la réaction proprement dite, dans la cuve d'attaque primaire, on a un mélange d'acide phosphorique et de phosphate.
2. La réaction d'attaque de la solution acide phosphorique et de phosphate ainsi préparé.
3. Le maintien de la température dans la cuve primaire, doit être de 90°C à 110°C.

Le phosphate broyé sortant du silo à phosphate alimente directement le dosomètre phosphate et s'écoule par gravité dans le mélangeur, qui reçoit latéralement de l'acide phosphorique dont la concentration varie entre 38% et 45% de  $P_2O_5$  préalablement dosé et qui est nécessaire à l'attaque du phosphate, la teneur du phosphore est exprimée sous forme de  $P_2O_5$ .

Le débit d'acide phosphorique est asservi au début du phosphate, l'injection d'acide phosphorique est faite de manière à assurer un bon contact avec le phosphate dans le mélangeur.



**Figure III.3** : Mélangeur pour la préparation de la bouillie

Dans la cuve d'attaque primaire agitée, se produit la réaction phosphate et acide phosphorique par injection d'ammoniac en plusieurs points de réacteur, après un séjour de 30 minutes, la bouillie s'écoule directement dans la deuxième cuve agitée elle aussi, pour compléter la réaction d'attaque du phosphate par l'acide phosphorique.



**Figure III.4 :** Cuves primaire et secondaire.

A la sortie de la deuxième cuve, la bouillie obtenue se déverse par gravité dans le tambour granulateur. Le circuit de la bouillie ou la goulotte à bouillie est conçu de manière à éviter tout bouchage résultant d'une prise en masse. Tous les matériaux en contact avec la bouillie sont résistants aux conditions du service. Concernant les gaz émanant de la réaction, ils sont aspirés et lavés.

### **III.1.3. Granulation**

La granulation du produit s'effectue dans un granulateur sous forme d'un tube tournant en acier inoxydable de 4m de diamètre et de 6m de longueur avec une vitesse de 10 tour/min.

La bouillie déborde de la cuve d'attaque vers le granulateur, qui est alimenté par les produits de recyclage et les matières premières solide (sulfate de potassium  $K_2SO_4$  ; ballast), nitrate d'ammonium liquide (solution chaude).

Aussi l'ammoniac liquide est injecté avec une rampe à 3 injecteurs. Le système rotatif permet la granulation du mélange ; la température de sortie de granules est de  $80^{\circ}C$  avec un pH supérieur à 5,5.

Pour améliorer la granulation on utilise l'eau chaude avec une petite quantité dans le cas la masse du granulat est sèche et on ajoute la vapeur pour déboucher les injecteurs.



Figure III.5 : Granulateur

#### III.1.4. Séchage

L'opération de séchage consiste à diminuer l'humidité suivant la formule produite. Comme dans le cas du NPK s 1,3 % max, TSP 6 % max.

Le produit ainsi granulé tombe par gravité directement dans le tube sécheur rotatif, le séchage se fait avec l'air chaud qui traverse le tube dans le même sens d'écoulement du produit. La source de la chaleur est la combustion de gaz naturel dans la chambre de combustion qui se trouve dans la chauffe. La température d'entrée des gaz au sécheur sera variée jusqu'à 500°C et la température de sortie des granules est de 90 °C pour éviter la décomposition de nitrate.

Dans le sécheur tube rotatif qui présente une conception cylindrique, il existe des organes (aménagement) internes tels que des spires pour assurer le relevage du produit cheminant dans les tubes et le contact avec le gaz aussi des pelles et des râteaux pour réaliser un bon séchage.

Cette étape est effectuée afin d'éviter la prise en masse du produit au cours du stockage de l'engrais et l'encrassement d'équipements.



**Figure III.6:** Tube sécheur

### III.1.5. Classification

Le produit granulé sortant du tube sécheur est repris directement par l'élévateur à godet qui alimente le scalper.



**Figure III.7:** Scalper.

La première classification s'est effectuée, puis par l'intermédiaire d'une simple goulotte en Y, le produit passe par des tamis vibrants permettant de séparer la tranche granulométrique supérieure à la valeur choisie.

Le tamis vibrant est composé de deux éléments travaillant en série, tamis vibrants de grosses mailles et de fines mailles.



**Figure III.8:** Tamis vues de l'extérieur et de l'intérieur respectivement.

### III.1.6. Refroidissement

Après criblage, la tranche granulométrique comprise en 2 et 4 mm constitue le produit granulé fini qui sera directement envoyé vers la section de refroidissement.

Le principe du refroidissement est basé sur la mise en suspension bouillonnante d'un lit de produit par soufflage d'air à travers une grille perforée dont la perte de charge assure la répartition d'air. L'épaisseur du produit est d'environ 60 mm, la vitesse de l'air dans la zone libre en-dessus du lit est de 2m/s.

L'adaptation du tambour sécheur de la première ligne d'engrais à un tambour refroidisseur pour la deuxième ligne se fait par de l'air traité, l'air déshumidifié passe à

contre-courant du produit fini, pour permettre un échange de chaleur efficace. Le refroidissement du produit fini est indispensable pour les NPKcl, les NPKs à l'exception du NPKs (4.20.25) et le produit fini du sulfazote.



**Figure III.9 :** Refroidisseur

### **III.1.7. Enrobage**

Le produit sortant du refroidisseur est admis par goulotte dans l'enrobeur. Le produit d'enrobage est transporté sur un plancher supérieur où il est stocké en trémie. Une reprise par vis doseuse à la base de la trémie l'admet dans l'enrobeur où le mélange engrais-enrobant est assuré par rotation du tube, et à une vitesse de 8 T/min.

L'enrobeur est équipé intérieurement d'une série d'hélices et de releveurs, le remplissage est déterminé par le seuil de sortie. La pente de 3 % assure l'avancement du produit.

On admet généralement, suivant la formule d'engrais traité, que 1 à 2 % d'enrobant peut être fixé sur l'engrais.



Figure III.10 :Bac d'huile d'enrobage



Figure III.11 : Enrobeur du produit fini.

L'enrobant a pour fonctions :

- Attirer et diffuser la phase de solution cristalline à la surface du grain pour éviter la concentration locale de sels à l'intérieur ;
- Affiner le cristal par une petite charge superficielle pour assurer un lissage et une meilleure présentation ;
- Absorber l'humidité résiduaire à la surface du grain pour éviter une absorption interne par celui-ci.



Figure III.12 : Stockage de l'huile d'enrobage.

### III.1.8. Recyclage

Les passants (filtrat) des cribles sont envoyés directement avec le recyclage, et les refus sont broyés pour être introduits dans le circuit de recyclage, le produit constituant le recyclage est retourné vers le tambour granulateur, par l'intermédiaire de la bande de recyclage et de l'élévateur à godet, en outre, une bascule intégrée est installée dans la bade de recyclage, permettant de contrôler le tonnage qui va vers le granulateur. Le taux de recyclage est le rapport entre le tonnage recyclé dans le granulateur et le tonnage du produit marchand.



Figure III.13 : Produit de recyclage



Figure III.14 : Tapis de recyclage.

### III.1.9. Stockage

A la sortie de l'enrobeur, l'engrais granulé enrobé est repris par un transporteur d'un débit de 70 T/h. Ce transporteur alimente un élévateur à la jetée duquel il y'a un volet

permettant l'envoi du produit fabriqué vers le hall de stockage d'engrais vrac.



Figure III.15 : Transport des engrais finis



Figure III.16: Hall de stockage.

### III.1.10. Dépoussiérage et lavage des gaz

La fabrication des engrais comporte des opérations dans lesquelles se dégagent des gaz, dont certains sont nocifs et contiennent des poussières d'engrais. Pour ne pas polluer l'atmosphère il a été décidé de prévoir un système de dépoussiérage et lavage des gaz. Les gaz qui sortent de la cuve d'attaque du granulateur et les gaz passent à la section de lavage des gaz se fait à l'eau de mer permettant d'éliminer le fluor amené par l'acide phosphorique, les gaz lavés sont rejetés vers l'atmosphère.

## III.2. CONTRÔLE DE QUALITE D'ENGRAIS NPK

**Tableau III.1: contrôle de qualité d'engrais NPK**

Paramètre mesuré	Appareils	Valeur Spécification des paramètres physicochimiques
Taux d'humidité	Appareil d'analyse du pourcentage d'humidité	Max 1,3
Dureté	Duromètre	Min 4,5
pH	pH-mètre	Min 5,5
Taux de K <sub>2</sub> O	Spectrophotomètre à flamme	Min 13,9    Max 16,1

## **CONCLUSION**

À travers cette section, nous avons essayé de mieux comprendre le processus de fabrication des engrais NPK 3x15. Les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques qui présentent les données de fabrication nécessaires pour l'étude statistique ont été exposées.

**PARTIE IV**  
**EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE**  
**FABRICATION**

## INTRODUCTION

La statistique est la science dont l'objet est de recueillir, de traiter et d'analyser des données issues de l'observation de phénomènes aléatoires, c'est-à-dire dans lesquels le hasard intervient. L'analyse des données est utilisée pour décrire les phénomènes étudiés, faire des prévisions et prendre des décisions à leur sujet. En cela, la statistique est un outil essentiel pour la compréhension et la gestion des phénomènes complexes.

Il existe de nombreux outils logiciels pour l'exploitation statistique, nous avons choisi le logiciel mathématique STATISTICA pour l'exploitation statistique des données de fabrication des engrais NPK (3×15).

### IV.1.LES RESULTATS D'ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES ETUDIE

L'exploitation statistique des données de fabrication a été réalisée par le logiciel mathématique STATISTICA version 5.1 qui permet à l'utilisateur d'effectuer facilement des analyses statiques à l'aide d'une philosophie basée sur des tableaux et des données, pour notre cas on a pris les données de 9 paramètres sur une période de 20 jours. Les paramètres étudiés sont présentés sur le tableau 1.

**Tableau IV.1** : Tableau de données de 20 analyses de produit fini

Jour	H <sub>2</sub> O %	N.Tot %	N.Amm %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .Tot %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Sol.Eau %	K <sub>2</sub> O %	PH. solution à 10%	Enrobant	Dureté (Kg)
1	1,32	13,54	9,8	13,31	9,63	14,86	6,11	0,05	3,46
2	1,22	14,65	9,23	13,09	11,29	14,91	5,91	0,28	3,13
3	1,02	13,54	8,78	13,76	11,17	14,82	5,18	0,22	3,13
4	1,19	15,62	9,44	14,5	12,02	16,67	5,93	0,18	3,33
5	1,38	14,14	9,34	17,77	11,80	16,94	5,95	0,16	2,90
6	1,43	14,23	11,3	13,7	12,93	16,88	6,15	0,16	2,78

7	1,49	15,51	10,64	14,65	12,95	13,02	5,87	0,22	3,36
8	1,34	17,02	10,28	14,86	13,18	14,01	5,65	0,22	3,42
9	1,57	15,51	10,49	15,31	13,89	14,29	6,27	0,16	3,49
10	1,62	15,84	10,66	16,17	13,29	13,2	5,88	0,18	3,59
11	1,32	14,92	9,76	15,24	12,02	12,78	5,80	0,20	3,10
12	1,08	14,65	9,91	14,91	12,41	15,32	5,80	0,21	3,73
13	1,47	14,69	9,92	14,61	12,74	16,61	5,92	0,21	3,81
14	1,13	14,86	10,3	14,37	12,91	15,64	6,16	0,18	3,33
15	1,1	15,19	9,44	14,54	12,32	15,77	5,19	0,23	3,70
16	1,27	14,72	10,17	14,62	11,76	15,59	5,39	0,16	3,65
17	1,25	14,40	9,88	13,30	11,59	15,60	5,96	0,16	3,66
18	1,45	15,36	9,91	13,03	11,61	14,12	5,98	0,22	3,78
19	1,19	14	10,95	13,59	12,53	14,26	6	0,18	3,97
20	1,08	16,95	10,44	13,13	13,07	15,10	6,13	0,18	3,73

## IV.2. EXPLOITATION STATISTIQUE DES RESULTATS

Tableau IV.2: Spécification des paramètres physicochimiques

Paramètres	Tolérance	Specs Mini	Specs Max
H <sub>2</sub> O %			1,3
N .Tot	1,1	13,9	16,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .Tot. %	1,1	13,9	16,1
K <sub>2</sub> O %	1,1	13,9	16,1
Enrobant		0,1	0,2
Dureté (Kg)		4,5	

### IV.3. STATISTIQUE ELEMENTAIRE:

**Tableau IV.3:** Les outils statistiques : moy, écart type, CV

Paramètres	Moyenne	écart type	Coefficient de variation
H <sub>2</sub> O. %	1,29	0,161	12.9836145
N .Tot	14,96	0,9219	6.166835365
N. Amm. %	10,02	0,6772	6.033345605
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .Tot.	14,46	1,256	7.87934449
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Sol. Eau	12,25	0,9324	7.608778375
K <sub>2</sub> O %	15,05	1,191	8.079201743
PH solution à 10%	15,85	0,28	5.009880292
Enrobant	0,19	0,043	23.40425532
Dureté (Kg)	3,45	0,312	9.044110016

Dans notre cas les paramètres suivants : Dureté, N.TOT, N.Amm, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. TOT, K<sub>2</sub>O , P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sol et pH solution sont les moins dispersés (donc ils sont les plus homogènes).

Plus le coefficient de variation est élevé plus la dispersion autour de la moyenne est grande, la plus grande dispersion apparait dans le paramètre Enrobant 23.4042% puis les paramètres de %H<sub>2</sub>O, la dureté , k<sub>2</sub>O respectivement 12.98 ; 9.0441 et la plus faible dispersion s'apparait dans les paramètres : , P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.Tot, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Sol ,N.TOT, N.Amm respectivement : 7.8793; 7.6087 ; 6,1668; 6,033

### IV.4. INDICE DE CAPABILITE:

Les indices de capabilité sont des comparaisons en proportion entre la dispersion du procédé et la dispersion de spécification. Certains indices de capabilité tiennent compte de la moyenne ou de la cible du procédé. De nombreux spécialistes considèrent

que 1,33 est la valeur minimale acceptable pour les indices de capabilité ; la plupart estiment qu'une valeur inférieure à 1 est inacceptable.

En règle générale, des valeurs de CP élevées indiquent que notre procédé offre une capabilité satisfaisante, des valeurs CP faible indiquent qu'il nécessite une amélioration.

**Tableau IV.4 : Les indices de capabilité**

Paramètres %	Tolérance	Specs Mini	Specs maxi	Cp	Cpi	Cps	Cpk
N .Tot	1,1	13,9	16,1	0,39	0,38	0,4	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .Tot	1,1	13,9	16,1	0,29	0,148	0,43	0,1
K <sub>2</sub> O	1,1	13,9	16,1	0,30	0,32	0,29	0,29
Enrobant		0,1	0,2	0,38	0,69	0,07	0,07

Les résultats d'analyse de 20 jours (tableau IV.1) montrent que la totalité des paramètres examinés ont une valeur de CP inférieur à 0,67 ce qui nous indiquent que le processus n'est pas assez performant. Les deux paramètres P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> TOT et K<sub>2</sub>O % présentent les valeurs les plus faibles de CP indiquant un problème au niveau des deux étapes préparation de la bouille au niveau de la cuve d'attaque (Figure III.4) et la granulation au niveau du granulateur.

La formule brute K<sub>2</sub>O est utilisée pour exprimer la teneur en potassium des engrais NPK, le pourcentage de K<sub>2</sub>O indique la quantité d'oxyde de potassium équivalente à la quantité de potassium présente dans l'engrais bien qu'en réalité le potassium n'y soit pas présent sous forme d'oxyde mais plutôt sous forme de chlorure de potassium KCl , de sulfate de potassium K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou de carbonate de potassium K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Les paramètres : pourcentage de K<sub>2</sub>O et l'enrobant présentent des indices de capabilité de limite supérieur CPS inférieur aux indices de capabilité inférieur CPI ce que indique que le procédé est d'avantage susceptible de produire des grains défectueuses qui

enfreignent la limite de spécification supérieure contrairement au paramètre de pourcentage de  $P_2O_5$  tot ou les grains concernés enfreignent la limite inférieure.

La comparaison des valeurs de CPK avec le CP montre que leur valeurs ne sont pas proches ou identique donc le procédé n'est pas centré entre les limites de spécification sauf pour les deux paramètres : pourcentage d'enrobent et N tot.

#### **IV.5 . CARTES DE CONTROLE :**

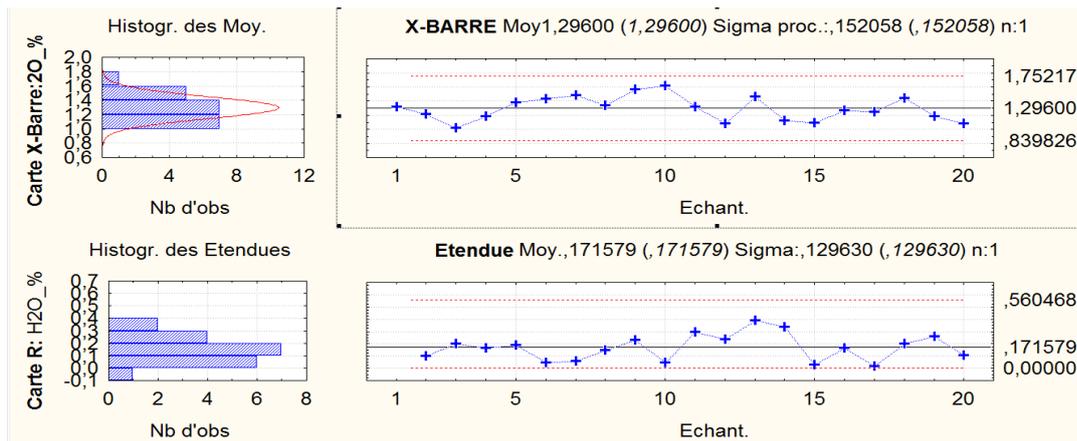
Les cartes de contrôle sont un moyen permettant de suivre en temps réel le fonctionnement du processus. Elles permettent de détecter tout dysfonctionnement de ce dernier, et cela par rapport aux conditions de normalité.

La carte des moyennes permet le suivi de l'évolution des moyennes de chaque échantillon par rapport aux conditions de normalité ; et la carte des écarts-types permet le suivi du fonctionnement du processus par rapport à la dispersion observée au sein de chaque échantillon.

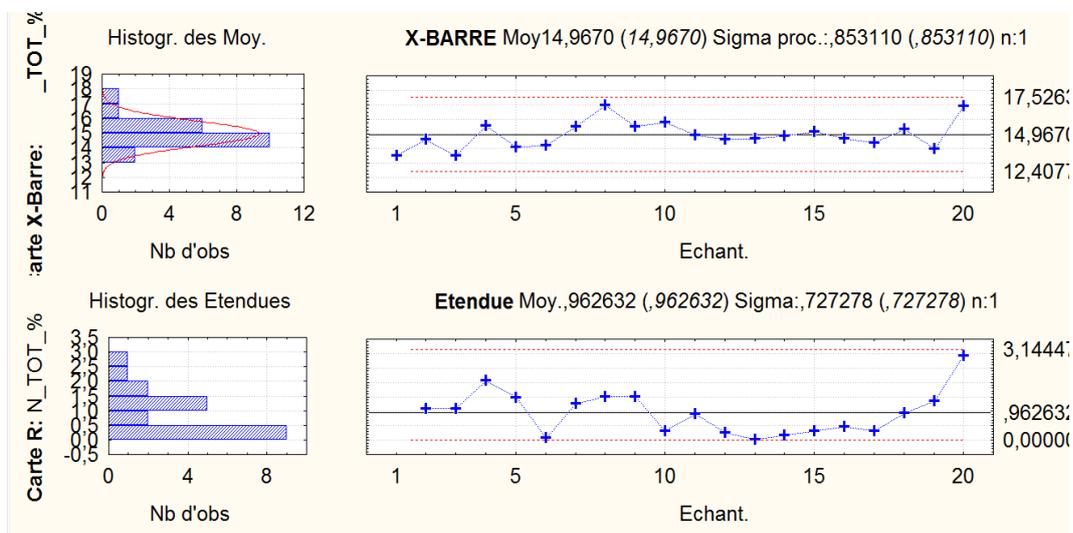
Les cartes de contrôle sont matérialisées par deux types de limites, appelées limites de surveillance et limites de réglage. Le dépassement de l'une des limites de surveillance (moyenne  $\pm 2$  écarts-types) indique que le processus est en voie de dérèglement (limites vertes), et le dépassement de l'une des limites de réglage (moyenne  $\pm 3$  écarts-types) indique quant à lui que le processus est déjà dérégulé (limites rouges). Les deux cartes sont complémentaires, et le dérèglement du processus peut apparaître soit dans l'une ou l'autre des deux cartes.

La base de données qui a été introduite au logiciel STATISTICA pour obtenir le calcul de statistique élémentaire et les cartes de contrôle des paramètres étudiés est représentée dans le tableau **IV.1**

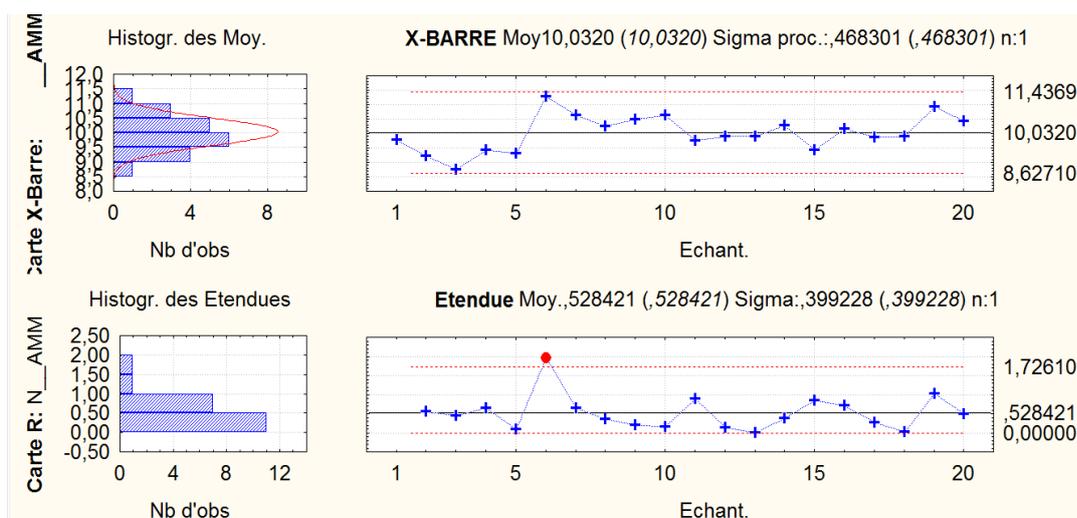
Dans notre étude une interprétation simultanée des cartes de contrôle des sept paramètres physico-chimiques analysés à savoir  $H_2O$  %, N.TOT%,  $P_2O_5$ . TOT%,  $K_2O$ %, PH. Solution à 10 %, Enrobant %, Dureté, est réalisée.



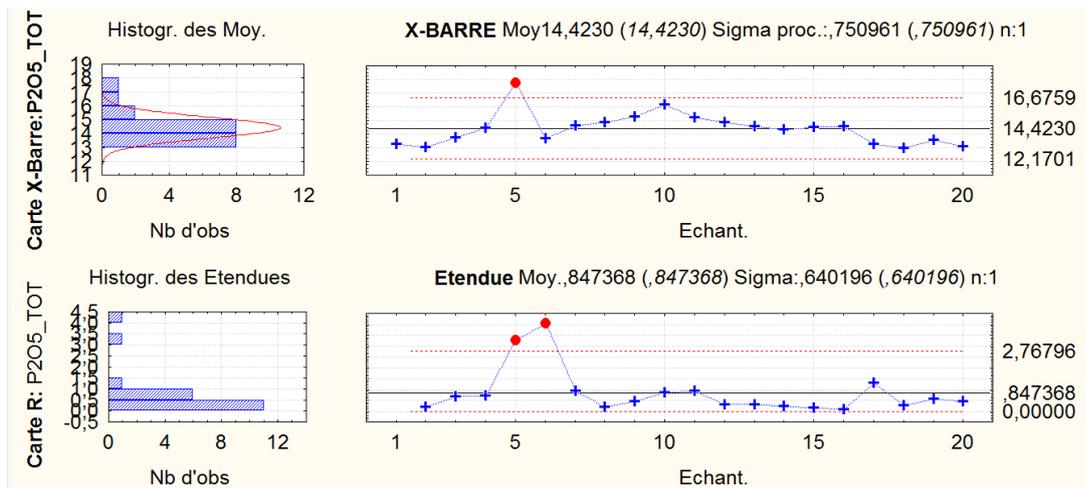
**Figures IV.1 : Carte de contrôle du paramètre : H<sub>2</sub>O%.**



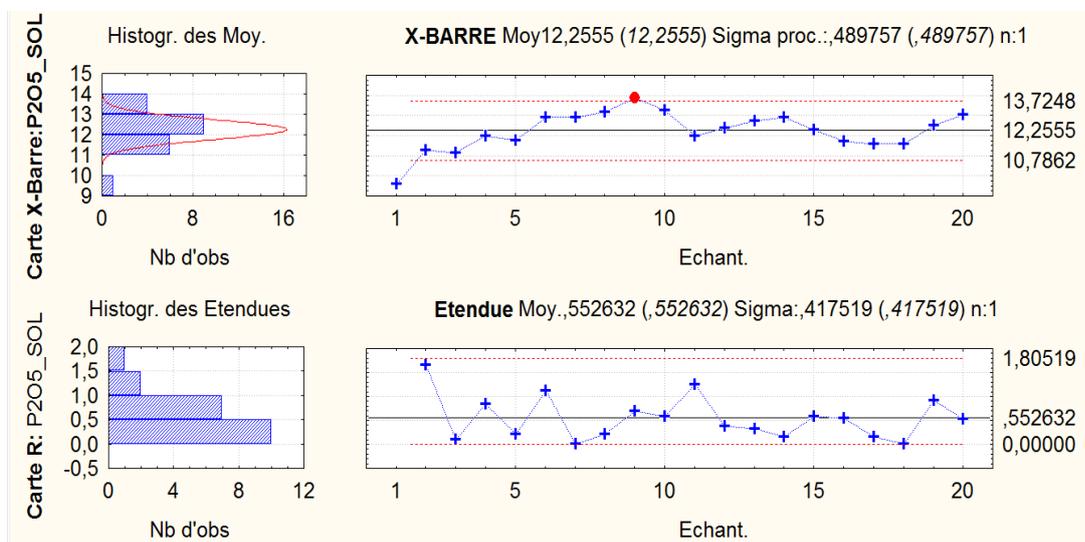
**Figures IV.2 : Carte de contrôle du paramètre : N.TOT%.**



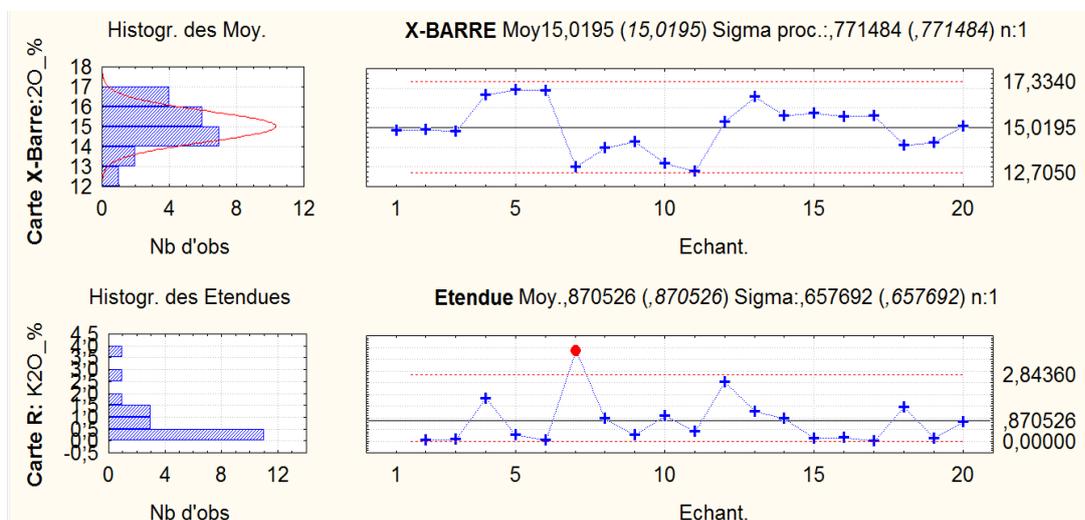
**Figures IV.3 : Carte de contrôle du paramètre : N.ammm.**



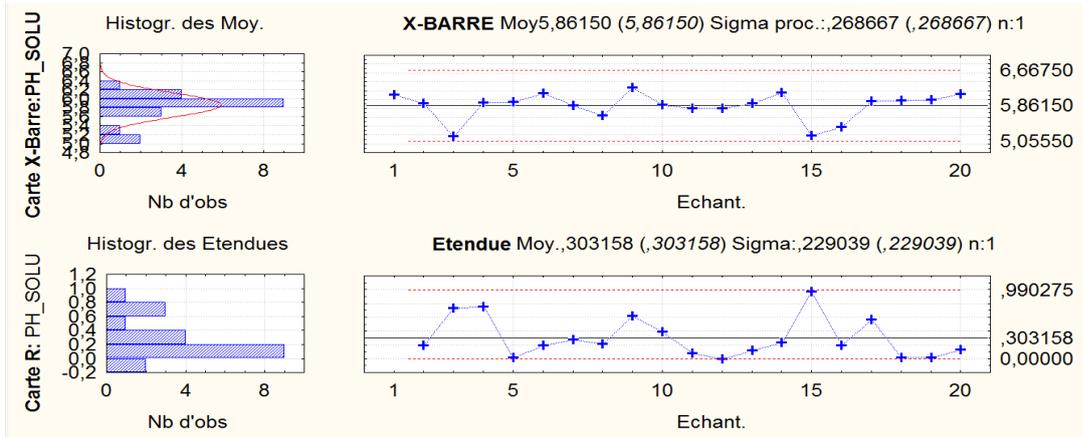
**Figures IV.4 :** Carte de contrôle du paramètre : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Tot.



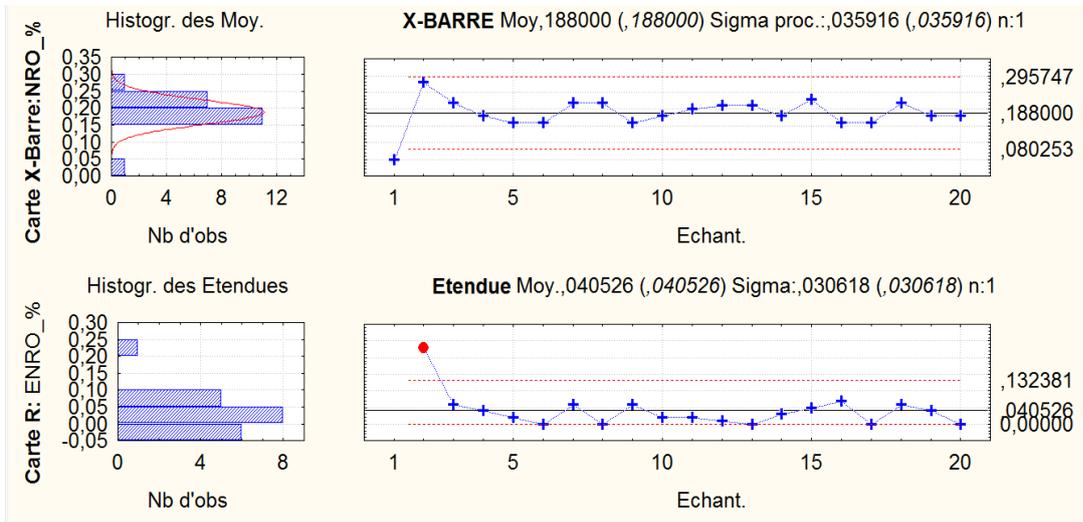
**Figures IV.5 :** Carte de contrôle du paramètre : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Sol.



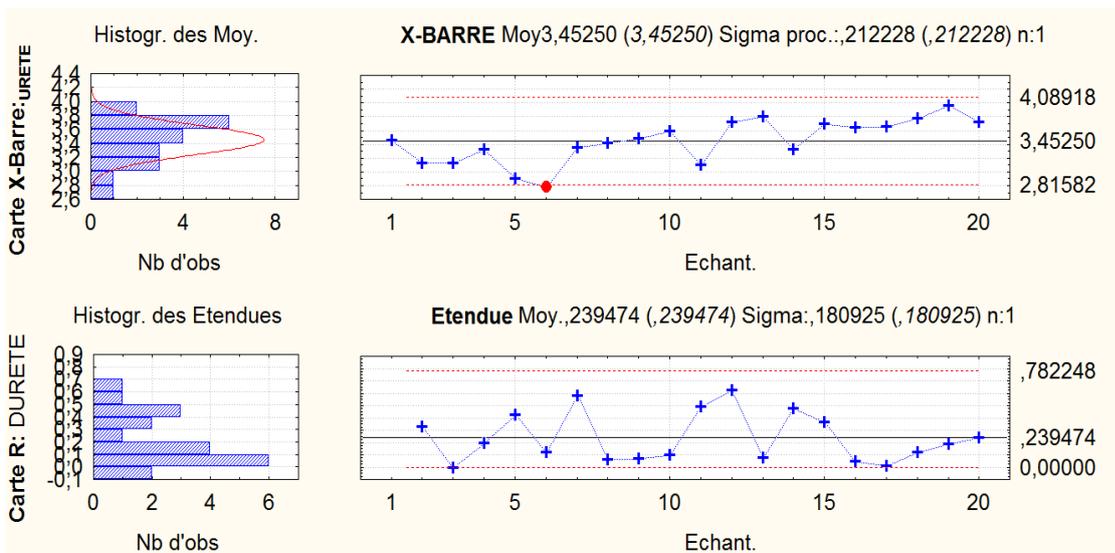
**Figures IV.6: Carte de contrôle du paramètre : K<sub>2</sub>O%.**



**Figures IV.7 : Carte de contrôle du paramètre : PH.**



**Figures IV.8: Carte de contrôle du paramètre : enrobant.**



**Figures IV.9 : Carte de contrôle du paramètre : dureté.**

La dispersion du graphique de l'intervalle est supérieure à celle de la moyenne pour tous les paramètres analysés, ou les deux qui se situent dans les intervalles où le processus est maîtrisé. On remarque que le paramètre d'enrobage a le plus grand dépassement des tolérances provoquant un coefficient de variation important  $CV=23.4042$ . La tendance de  $P_2O_5$  Tot émerge les droites spécifiées de façon potentielle que les autres paramètres comparativement au cartes de N .AMM ,  $K_2O$ , et l' enrobant .qui indiquent une faible émergence hors limites de contrôle. Par contre les paramètres de l'humidité, la dureté, N Tot , le PH et le  $P_2O_5$  sol eau restants sont sous contrôle. Nous disons donc qu'ils ont des problèmes au cours du processus de fabrication, ce qui nous oblige à en rechercher les causes, mais nous devons aussi expliquer que nous devons être vigilants pendant les analyses de laboratoire et adopter ensuite des mesures correctives appropriées au niveau d processus.

## **CONCLUSION**

Dans cette partie, nous avons examiné la maîtrise statistique des procédés avec ces outils : élémentaires (écart-type, moyenne, CV), indice de capabilité et les carte de contrôle.

Ces outils ont indiqué que quelques paramètres de fabrication sont dans les normes tell que le pourcentage de  $K_2O$ , la dureté et le pH contrairement aux autres paramètres qui déclare que le procédé n'est pas maîtrisé.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

Nous avons travaillé, pour notre projet de fin d'études, sur la maîtrise statistique des procédés appliquée pour l'analyse du processus de fabrication des engrais NPK (3×15)-Fertial

La maîtrise statistique des procédés est généralement utilisée dans le cadre des processus industriels et fait références à des méthodes statistiques utilisés pour suivre et améliorer la qualité des opérations respectives en collectant les informations à différentes étapes de processus et en réalisant des analyses statistique sur cette information.

L'exploitation statistique des données de fabrication a été réalisée par le logiciel mathématique STATISTICA version 5.1 qui permet à l'utilisateur d'effectuer facilement des analyses statiques à l'aide d'une philosophie basée sur des tableaux et des données, pour notre cas on a pris les données de 20 jours de 9 paramètres : H<sub>2</sub>O%, N.TOT%, N.Amm%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. TOT%, K<sub>2</sub>O%, PH. Solution à 10 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Sol. Eau%, Enrobant %, Dureté.

Les cartes de contrôles, les éléments de la statistique élémentaire, aussi les indices de capabilité sont des outils permettant de déterminer un assez grand nombre des causes qui affecte la normalité de processus.

Pour tous les paramètres étudiés, la dispersion du graphique de l'étendu est soit plus dispersé que celui de la moyenne soit ils sont aux limites ce qui indique que le processus est sous contrôle.

On remarque que le paramètre d'enrobage a le plus grand dépassement des tolérances provoquant un coefficient de variation important CV= 23.40425532%.

La tendance de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Tot émerge les droites spécifiées de façon potentielle que les autres paramètres comparativement au cartes de N. AMM , k<sub>2</sub>O, et l' enrobant .qui indiquent une faible émergence hors limites de contrôle , par contre les paramètres de l'humidité, la dureté, N.TOT, le PH et le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sol eau restants sont sous contrôle.

Nous disons donc qu'ils ont des problèmes au cours du processus de fabrication, ce qui nous oblige à en rechercher les causes, mais nous devons aussi expliquer que nous

devrons être vigilants pendant les analyses de laboratoire et adopter ensuite des mesures correctives appropriées au niveau de l'unité.