

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية :

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'Ingénierat

Département : Génie des Procédés

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Etude théorique et Exploitation statistique des données de fabrication des engrais NPK (3x15) de l'unité FERTIAL - Annaba

Présenté par : Maache Sarra et Bellili Assia

Encadrant : Guilane Sarra

MCB

Université Badji Mokhtar - Annaba

Jury de Soutenance :

Menadjlia Leila	MCB	UBMA	Président
Guilane SARRA	MCB	UBMA	Encadrant
Zogar Saida	MCA	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

«Si nos fabriques imposent a force de soin la qualité supérieure de nos produits, les étrangers trouveront avantage a se fournir chez nous et leur argent affluera dans le royaume »

COLBERT Le 3 AOUT 1664

RESUME

L'objectif de ce travail est l'exploitation statistique des données de production des engrais type NPK (3×15) fabriqué par FERTIAL-ANNABA.

La maîtrise statistique des procédés est un élément de l'Assurance Qualité et un outil d'amélioration continue. Elle vise à amener le processus au niveau de la qualité requis et à l'y maintenir grâce à un système de surveillance qui permet de réagir rapidement et efficacement à toute dérive.

L'étude statistique a été réalisée sur la base des résultats d'analyse de cinq paramètres physico-chimiques à savoir, le taux d'humidité, le taux d'enrobage, le pourcentage de K_2O , le pH et la dureté et à l'aide du logiciel mathématique STATISTICA version 5.1.

L'interprétation des cartes de contrôle (moyenne et étendu) et les résultats d'analyse statistique élémentaire (écart type, moyenne, coefficient de variation) ont montré que le processus ne fonctionne pas correctement

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

ABSTRACT

The aim of this work is the statistical exploitation of the production data of a fertilizer type NPK (3×15) manufactured by FERTIAL-ANNABA.

Statistical Process Control is a set of tools used for continuous improvement and quality control of an active manufacturing process. It can provide a greater understanding of the process by providing a graphical interpretation of the variation in the process.

The statistical study was carried out on the analysis results of five physicochemical parameters, namely, the humidity rate, the coating rate, the percentage of K_2O , the pH and the granular hardness, using the mathematical software STATISTICA version 5.1.

The results of the elementary statistical analysis (standard deviation, mean, coefficient of variation) and the interpretation of control charts (mean and range) showed that the process does not work correctly

Keywords: Fertilizers; FERTIAL; Statistical Process Control ; Quality control ; Statistical exploitation; Basic statistics; Control card ; Data meaning ; NPK.

DEDICACE

*L*a vie n'est qu'un éclair,

*E*t un jour de réussite est un jour très cher.

A mon cher père ABDALLAH

Et ma chère mère MEBARKA

Pour l'éducation et le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance.
Pour leurs patiences et leurs sacrifices.

A mes chers frères : AYMEN, HAMZA

A mes chères sœurs : RABIHA, NARIMANE

*A*ux petits enfants : ROUMAÏSSA, TADJEDDINE, SALSABIL, HADIA

A mes amis : ACHOUAK, CHAKER

Je dédie ce modeste Mémoire.

❧ ASSIA ❧

DEDICACE

*L*a vie n'est qu'un éclair,

*E*t un jour de réussite est un jour très cher.

A mon cher père ELHDJE

Et ma chère mère TOUMAI

Pour l'éducation et le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma naissance.
Pour leurs patiences et leurs sacrifices.

A mes chers frères : ISMAIL, BADRI

A mes chères sœurs : AMEL, ASSIA

*A*ux petits enfants : IMMA, ADEM, ZAKRIA, TASNIM

A mon ami : ABDERRAHMAN

Je dédie ce modeste Mémoire.

❧ SARA ❧

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre directrice de mémoire **Madame Guilane Sarra**, Docteur à l'Université Badji Mokhtar - Annaba, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période de notre travail.

Nous souhaiterons remercier **Madame Bouhadjar Meriem**, Docteur à l'Université Badji Mokhtar - Annaba ; département de mathématique ; qui nous a beaucoup aidé pour mieux comprendre et maîtriser le logiciel STATISTICA.

Nous adressons nos respectueux remerciements à tous les 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 remercions enfin nos familles respectives, **BELLILI** et **MAACHE**, de nous avoir encouragées tout le long de la réalisation de ce travail, et plus particulièrement nos parents qui nous ont soutenues et aidées sur tous les plans et à tous les niveaux.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES TABLEAUX	3
INTRODUCTION GENERALE	5

PREMIERE PARTIE :

GENERALITES SUR LES ENGRAIS LES ENGRAIS PHOSPHATES ET LES ENGRAIS COMPLEXES (NPK)

INTRODUCTION	8
I. GENERALITES SUR LES ENGRAIS	9
I.1. HISTORIQUE	9
I.2. DEFINITION DES ENGRAIS	10
I.3. LES DIFFERENTES CLASSES DES ELEMENTS NECESSAIRES A LA CROISSANCE DES VEGETAUX	10
I.4. TYPES D'ENGRAIS	11
I.4.1. Les engrais de synthèses	12
I.4.2. Les engrais organique	12
I.4.3. Engrais organo-minéraux	13
I.5. LES ROLES DES ELEMENTS FERTILISANTS DES ENGRAIS	13
I. I.6. LES BENEFICES DES DEUX GRANDS TYPES D'ENGRAIS	15
I.7. LES EFFETS DES ENGRAIS SUR L'ENVIRONNEMENTS	16
I.7.1. Les effets sur l'homme	16
I.7.2. Les effets sur l'environnement	17
I.8. MODE D'APPLICATION DES ENGRAIS	18

II. LES ENGRAIS PHOSPHATE	19
II.1. DEFINITION DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE	19
II.1.1. Définition des engrais phosphatés	19
II.1.2. Les Types des engrais Phosphatée	19
II.2. FABRICATION DES ENGRAIS PHOSPHATES	20
II.2.1. Voix humide	20
II.2.2. Voix thermique	21
III. LES ENGRAIS NPK	23
III.1. DEFINITION DES ENGRAIS NPK	23
III.2. Les limites des NPK	24
III.3. Localisation de Production	25
III.3.1. Azote	25
III.3.2. Potasse	26
III.3.3. Phosphate	26
CONCLUSION	27

DEUXIEME PARTIE :

CONTROLE STATISTIQUE DE LA QUALITE

INTRODUCTION	29
I.1. LA QUALITE	29
I.1.1. Définition	29
I.2. LE CONTROLE DE QUALITÉ D'UN PRODUIT INDUSTRIEL	31
I.2.1. Définition	31
I.2.2. Les caractéristiques d'un contrôle	32

I.2.3. Modes de contrôle	34
II. CONTROLE STATISTIQUE DE LA QUALITE DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE	34
II.1. GENERALITE	34
II.2. OBJECTIFS DE L'AMELIORATION DE LA QUALITE DANS L'INDUSTRIE	34
II.3. LES DIFFERENTS OUTILS STATISTIQUES EXPLOITABLES	35
II.3.1. Les outils statistiques élémentaires (calcul de la moyenne, écart-type, variance, intervalle de confiance ...)	35
II.3.2. Plans d'expériences	38
II.3.2.1. Intérêt et Domaines d'applications	38
II.3.3. Carte de contrôle	38
III.3.3.1. Outils de base pour le contrôle des procédés	40
III.3.3.2. Intérêt et Domaines d'applications	41
III.3.4 Indice de capabilité	41
CONCLUSION	42

TROISIEME PARTIE

PROCEDE DE FABRICATION DES ENGRAIS NPK

INRODUCTION	44
I. PRESENTATION DE FERTIAL, ANNABA	44
I.1 HISTORIQUE	44
I.2 PRODUCTION DE L'ENTREPRISE	45
I.3 PROCEDE DE FABRICATION DES ENGRAIS NPK	45
I.3.1 Préparation de matière première	46

I.3.2 Préparation de bouillie	47
I.3.3 Granulation et séchage	48
I.3.4 Classification	48
I.3.5 Refroidissement	48
I.3.6 Enrobage	48
I.3.7 Recyclage	49
I.3.8 Stockage	51
I.4 Matériels utilisés pour le contrôle qualité du produit	51
CONCLUSION	52

QUATRIEME PARTIE

EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION

INTRODUCTION	54
I.1 FONCTION ANALYTIQUE DU LOGICIEL STATISTICA	55
I.2 SPECIFICITES	55
I. LES RESULTATS D'ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES ETUDIES	56
II. EXPLOITATION STATISTIQUE DES RESULTATS	57
II.1 Statistique élémentaires	57
II.2 Carte de contrôle	54
II.3 Indice de capabilité	58
CONCLUSION	65
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	70

LISTE DES FIGURES

PREMIERE PARTIE : GENERALITES SUR LES ENGRAIS LES ENGRAIS PHOSPHATES ET LES ENGRAIS COMPLEXES (NPK)

Figure I-1 : Exemple d'engrais de synthèse	12
Figure I-2 : Exemple d'engrais organique	13
Figure I-3 : Les besoins nutritifs	15
Figure I-4 : Principe de fabrication des engrais phosphatés	20
Figure I- 5 : Vois sulfurique pour la production d'engrais phosphatés	21
Figure I-6 : Principe de fabrication des engrais NPK	24

DEUXIEME PARTIE : CONTROLE STATISTIQUE DE LA QUALITE

Figure I-1 : Triplet qualité	31
Figure I-2 : Les étapes de contrôle de qualité	33
Figure II-1 : Courbe de distribution des moyennes et individuels	36
Figure II-2 : Une courbe en forme de cloche ou courbe de gauss	37
Figure III-3 : Construction d'une Carte de Contrôle	39
Figure III-4 : Cartes de contrôle du paramètre (variation)	40

TROISIEME PARTIE : PROCEDE DE FABRICATION DES ENGRAIS NPK

Figure I-1 : Processus général de fabrication des engrais NPK	45
Figure I-2 : Circuit de recyclage	50

QUATRIEME PARTIE : Exploitation statistique des données de fabrication

Figure II-1 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre« la dureté »	59
Figure II-2 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre« le taux d'humidité»	60

Figure II-3 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre« le taux d'enrobage»	61
Figure II-4 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre « pH »	62
Figure II-5 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre le taux de « K ₂ O»	63

LISTE DES TABLEAUX

PREMIERE PARTIE :

GENERALITES SUR LES ENGRAISLES ENGRAIS PHOSPHATES ET LES ENGRAIS COMPLEXES (NPK)

Tableau I-1 : Eléments essentiels pour les engrais	15
Tableau III-1 : Capacités de production d'ammoniac	25
Tableau III-2 : Capacités de production d'acide phosphorique	27

TROISIEME PARTIE

PROCEDE DE FABRICATION DES ENGRAIS NPK

Tableau I-1 : Production des différents produits fabriqués	44
Tableau I-2 : Matériels utilisés pour le contrôle qualité du produit	51

QUATRIEME PARTIE

EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION

Tableau I-1 : Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques étudiés	56
Tableau II-1 : Spécification des paramètres physico-chimiques du produit fini	57
Tableau II-2 : Les calculs statistiques élémentaires des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques	57
Tableau II-3 : Les indices de capabilité pour le paramètre « le taux d'enrobage »	64
Tableau II-4 : Interprétations des indices de capabilité	65

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Pour se développer les plantes ont besoin d'eau, de lumière, de carbone, d'oxygène et d'éléments minéraux. L'air fournit l'oxygène et le gaz carbonique, source du carbone, que la plante fixe grâce à la photosynthèse. Le sol sert de réserve en eau et en éléments minéraux pour alimenter la plante. Les besoins de la plante évoluent au cours de sa vie et à chaque stade de son développement. Les fertilisants approvisionnent le sol en éléments nutritifs.

Les matières fertilisantes sont des produits destinés à assurer la nutrition des végétaux ou à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Elles comprennent les fertilisants minéraux (engrais) qui sont des produits dont la fonction majeure est d'apporter aux plantes des éléments nutritifs (éléments majeurs, éléments secondaires et oligo-éléments). Les fertilisants minéraux sont des substances solides, fluides ou gazeuses contenant un (engrais simple) ou plusieurs (engrais composés) éléments nutritifs majeurs (N,P,K) sous une forme inorganique.

La statistique est la discipline qui étudie des phénomènes à travers la collecte de données, leur traitement, leur analyse, l'interprétation des résultats et leur présentation afin de rendre ces données compréhensibles par tous. C'est à la fois une science, une méthode et un ensemble de techniques.

L'analyse des données permet de traiter un nombre très important de données et de dégager les aspects les plus intéressants de la structure de celles-ci. Le succès de cette discipline dans les dernières années est dû, dans une large mesure, aux représentations graphiques fournies. Ces graphiques peuvent mettre en évidence des relations difficilement saisies par l'analyse directe des données.

Les systèmes d'exploitation sont largement utilisés dans quasiment toutes les industries des pays développés et permettent d'assurer une totale maîtrise des outils de production pour l'obtention d'une meilleure qualité à un moindre coût.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

La première partie de ce mémoire, est une étude bibliographique dans laquelle les engrais seront définis de manière générale, de leur l'historique, de leur utilisation, leurs types,... etc ; il y aura ensuite une définition des engrais phosphatés et des engrais complexes (NPK) qui sont l'objet de notre travail

Au cours de la deuxième partie nous allons montrer l'importance des méthodes statistiques appliquées à la qualité et à la gestion des risques. Nous avons, pour cela,

divisé cette partie en deux sections. La première est dédiée au contrôle de qualité, la définition, les caractéristiques ainsi que ses types. La deuxième est concernée par les différentes méthodes statistiques du contrôle de qualité.

L'objectif de la troisième partie est de donner une brève description du complexe FERTIAL. Les étapes du processus de fabrication des engrais de formule NPK (3×15) ont été présenté ainsi que les paramètres physico-chimiques à analyser, à savoir le pH, le taux d'humidité, le pourcentage d'enrobage, la dureté et le pourcentage de K_2O .

Enfin, après avoir généré des informations sur le processus de fabrication et de collecter les données de production des engrais NPK (3×15). Une étude statistique a été réalisée en utilisant le logiciel STATISTICA version 5.1. L'exploitation statistique a été effectuée sur la base des résultats d'analyse de 25 échantillons.

GENERALITES SUR LES ENGRAIS
LES ENGRAIS PHOSPHATES ET LES ENGRAIS
COMPLEXES (NPK)

GENERALITES SUR LES ENGRAIS

LES ENGRAIS PHOSPHATES ET LES ENGRAIS COMPLEXES (NPK)

INTRODUCTION

Malgré une augmentation continue de la production alimentaire et des progrès certains dans sa distribution et son utilisation, la situation mondiale de l'alimentation est préoccupante, l'expansion restant globalement inférieure à l'accroissement de la population. La situation est même angoissante dans les pays en voie de développement, aux sols souvent ingrats, et qui sont en pleine explosion démographique [1].

La mise en valeur des terres inexploitées, qui nécessite souvent d'énormes investissements (drainage, irrigation), ne peut être envisagée qu'à long terme et ne devrait se faire qu'avec de grandes précautions si l'on veut que leur fertilité se maintienne et que l'environnement soit respecté. À court terme, l'un des moyens les plus efficaces d'augmenter fortement la production agricole réside certainement dans une utilisation rationnelle et généralisée des engrais minéraux.

Parmi les éléments fertilisants que les plantes puisent dans le sol, trois sont déterminants : l'azote, le phosphore et le potassium. On les trouve à l'état naturel : nitrates, guano, phosphates d'os, apatites, phosphorites, différents sels de potassium, mais ils ne sont généralement pas directement utilisables comme engrais. C'est la raison pour laquelle l'industrie produit toute une gamme d'engrais dont la consommation s'accroît régulièrement chaque année.

Dans cette partie, nous allons dans un premier temps, donner une définition aux engrais, un bref historique, leurs rôles ainsi que leurs bénéfices. Par la suite, nous allons étudier la matière première essentielle à la fabrication des engrais solides phosphatés et NPK, qui est le phosphate, finalement nous allons présenter une définition de ces engrais, leurs méthodes de fabrication et leurs limites.

I. GENERALITES SUR LES ENGRAIS

I.1. HISTORIQUE

L'utilisation des *engrais* est très ancienne, et date probablement du tout début de l'agriculture et de l'élevage. L'homme a dû constater que les plantes poussant sur la *fumure* fraîche des déjections animale avaient une croissance plus rapide que les autres, et il s'est donc servi des fumiers divers (dont ceux des humains) pour récolter plus. C'est d'ailleurs là toute l'histoire de l'humanité : l'utilisation du fumier pour enrichir le sol a été une des causes de la sédentarité de l'agriculteur éleveur et par conséquence, du développement des infrastructures, maisons, fermes, outillage etc.

Les déjections diverses et fumiers ont d'ailleurs été les seuls engrais utilisés pendant des siècles ou des millénaires.

Les déchets végétaux ont aussi été utilisés. La raison principale de l'augmentation de la population au moyen-âge a été l'utilisation de la culture sur l'*humus* et la cendre obtenus par le défrichement massif des forêts. Le problème est que la richesse du sol obtenue par la culture sur le sol d'une forêt ne dure que jusqu'à l'épuisement du sol, et le défrichement doit donc être poursuivi ailleurs [2]. L'assolement et la rotation des cultures a permis à la même époque (et plus tard) de développer le libre pâturage, les champs laissés en friche accueillait les troupeaux de tout le village (pas de clôture) et permettaient de recharger les réserves du sol par l'apport des fumiers et la non exploitation des terres durant une ou plusieurs années [4].

L'augmentation de la population a conduit à la délimitation des champs et a induit des changements : il fallait trouver de l'engrais, fumier, "guano", déchets végétaux ou cendre. C'était le système D, chaque paysan était dépendant à la fois du climat, de la qualité de ses semences, de son travail, de sa terre, mais aussi de sa capacité à enrichir le sol [2].

C'est alors (milieu du XIX siècle) que sont apparus les premiers engrais dits "chimiques" qui étaient issus de l'exploitation des mines du Chili principalement. Ces engrais ont ensuite été rejoints au début du XXe siècle, par les produits de synthèse, permettant d'obtenir par procédés industriels ce que la terre ne peut donner facilement [3].

Ce bref historique nous montre bien que vouloir manger mieux en produisant plus n'est pas une quête récente, c'est l'essence même de l'agriculture, et que cela est très dépendant de l'utilisation d'engrais, naturels ou produits industriellement.

I.2. DEFINITION DES ENGRAIS

Les engrais sont des composés chimiques qui donnent au sol les éléments fertilisants 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 adsorbant du sol. Ces ions sont progressivement mis à la disposition de la plante.

Les engrais sont des substances organiques ou minérales, ils apportent aux plantes des compléments nutritifs, contribuant à l'augmentation du rendement et à la qualité des cultures, Les 3 éléments nutritifs principaux sont l'azote, l'acide phosphorique et la potasse (qui sont généralement désignés par leur symbole chimique : N, P, K) [4].

I.3. LES DIFFERENTES CLASSES DES ELEMENTS NECESSAIRES A LA CROISSANCE DES VEGETAUX

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

A. Éléments fertilisants 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.

B. Éléments fertilisants secondaires : Le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le soufre (S) et le sodium (Na).

C. Oligo-éléments : bore, chlore, cuivre, magnésium, molybdène et le zinc. 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 [4].

Les engrais peuvent être classifiés selon leur composition chimique :

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

Les teneurs en 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 des teneurs exprimés en (%) massique dont la formule s'écrit dans l'ordre % N - % P_2O_5 - % K_2O . Les formules d'engrais fabriqués à partir du phosphate naturel sont :

A. Engrais simples:

- Le simple superphosphate SSP (18 % en P_2O_5).
- Le triple superphosphate TSP (45 % en P_2O_5).

B. Engrais composés (binaires) :

- 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).

C. Engrais composés (ternaire) : A partir des engrais composés binaires cités ci-dessus on peut fabriquer des engrais ternaires par l'addition de composés tels que, le chlorure de potassium KCL ou le sulfate de potassium K_2SO_4 [4].

I.4. TYPES D'ENGRAIS

L'homme apporte des compléments d'éléments nutritifs ou engrais aux plantes afin d'obtenir de meilleurs résultats. Ceux-ci sont apportés en générale en les incorporant au sol ou à travers l'eau d'irrigation et quelque fois grâce à la culture hydroponique. Les différents types d'engrais sont les engrais minéraux, organiques et organo-minéraux.

I.4.1. Les engrais de synthèses

Les engrais de synthèse (appelés aussi engrais chimiques) sont répartis en trois familles principales : les engrais azotés, potassiques et phosphatés. Les engrais azotés sont obtenus par synthèse de l'ammoniac à partir de l'air et du gaz naturel. Les engrais potassiques et les engrais phosphatés, issus de gisements de roche naturelle, sont transformés chimiquement par l'industrie par extraction par solvant [5].



Figure I-1 : Exemple d'engrais de synthèse.

I.4.2. Les engrais organique

Les engrais organiques proviennent de la transformation de déchets végétaux et animaux. Ils peuvent être élaborés à partir de fumier, de lisier, de produits animaux (guanos, plumes et poils, sang desséché, corne), de produits végétaux tels que les mélasses ou récupérés par l'intermédiaire d'un compostage de végétaux.

Utiliser des engrais organiques rentre dans une démarche de retour au sol de la matière organique et de logique globale d'exploitation dans le cas où ces engrais sont produits sur l'exploitation ou sur des exploitations voisines (on parle alors plutôt d' « engrais de ferme »). A cause de la spécialisation de certaines exploitations en productions végétales (avec disparition totale de toute production animale), nombre d'exploitations n'utilisent plus d'engrais de ferme. Elles n'utilisent pas non plus d'engrais organiques mais

uniquement des « engrais de synthèse » dont le coût est inférieur mais qui ne sont pas exempts de conséquences sur l'environnement [6].



Figure I-2 : Exemple d'engrais organique.

I.4.3. Engrais organo-minéraux Les engrais organo-minéraux sont des engrais à action douce et soutenue résultant du mélange d'engrais minéraux et d'engrais organique. Les matières organiques azotées représentent généralement 25 à 50 % des produits finis. Les autres constituants du fertilisant, sels simples et minéraux (apportant l'azote, le phosphore et le potassium) sont dilués dans la matière organique [5].

I.5. LES ROLES DES ELEMENTS FERTILISANTS DES ENGRAIS

On distingue 3 séries d'éléments :

A. Les éléments majeurs principaux : avec l'Azote (N), le Phosphore (P- P_2O_5) et le Potassium (K- K_2O)

✓ **Azote (N) :** Son rôle dans la croissance est multiple chlorophylle, La faim d'azote s'exteriorise par un jaunissement des feuilles. Au contraire, une plante riche en azote est vert foncé et a un développement foliaire exubérant. N est donc le facteur déterminant les gros rendements.

✓ **Phosphore (P - P_2O_5) :** Son rôle est très diversifié car il intervient dans toutes les réactions biochimiques des tissus. Il favorise dans une large mesure le développement du système racinaire : rapidité de croissance, précocité, résistance. La déficience entraîne un nanisme des plantes. Elle s'exteriorise par des symptômes sur feuille qui sont en général les suivants - feuilles étroites, dressées et vert foncé, - mort prématurée des feuilles avec dessèchement des bords.

✓ **Le potassium (K et K_2O) :** Son rôle est très important à différents niveaux : - il régule la respiration et le bilan hydrique interne, - il contribue à la formation et au

transport des hydrates de carbone, - il participe à la formation de protides, de sucres et d'autres produits. Sa carence s'extériorise par des jaunissements sur feuille et des chutes prématurées : dessèchement caractéristique des bords de feuilles. Egalement des feuilles rabougries et rougeâtres. Dans le sol, la potasse est fournie par le complexe échangeable.

Il y a des interactions avec d'autres cations de ce complexe et un équilibre entre ces ions est nécessaire pour une bonne nutrition [6].

B Les éléments majeurs secondaires : avec le Calcium, le Magnésium, le Soufre et le Silice.

✓ **Calcium :** Joue un rôle capital dans la structure des végétaux car il entre dans la composition des cellules et les soude entre elles. Participe au développement racinaire et à la maturation des fruits et des graines. Est présent dans les zones de croissance des plantes (apex et bourgeons).

✓ **Magnésium:** Élément central de la chlorophylle. Contribue à la maturation des fruits et à la germination des graines. Renforce les parois cellulaires et favorise l'absorption du phosphore, de l'azote et du soufre par la plante.

✓ **Soufre :** Entre dans la composition de plusieurs protéines, enzymes et vitamines. Intervient dans la formation de la chlorophylle. Favorise le transport du potassium, du calcium et du magnésium dans la plante [7].

C. Eléments mineurs ou oligoéléments : Exemples : Fer - Manganèse - Cuivre - Zinc - Bore - Fluor - Molybdène - Iode - Arsenic -chlore etc...

✓ **Fer (Fe) :** Élément indispensable à la formation de la chlorophylle. Participe aussi à la constitution de certaines enzymes et acides aminés.

✓ **Bore (B) :** Élément nécessaire au bon fonctionnement de l'ensemble de la plante et à la croissance des tissus. Favorise la formation des fruits et participe à l'absorption de l'eau.

✓ **Manganèse (Mn) :** Favorise la germination des semences et accélère la maturation des plants. Joue un rôle important dans la photosynthèse en participant à la formation de la chlorophylle. Est nécessaire au métabolisme de l'azote et à la formation des protéines.

✓ **Molybdène (Mo) :** Élément indispensable à l'assimilation de l'azote par les plantes et les bactéries fixatrices d'azote.

✓ **Chlore (Cl) :** Stimule la photosynthèse.

✓ **Cuivre (Cu) :** Activateur de plusieurs enzymes. Joue aussi un rôle dans la formation de la chlorophylle.

✓ **Zinc (Zn)** : Joue un rôle important dans la synthèse des protéines, des enzymes et des hormones de croissance [7].

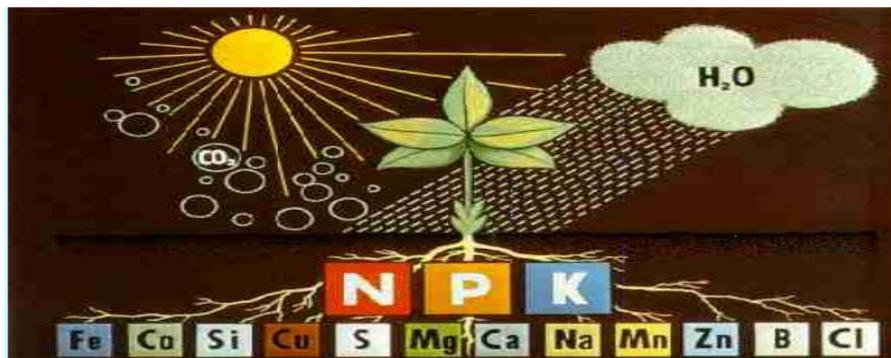


Figure I-3 : Les besoins nutritifs [7].

Tableau I-1 : Eléments essentiels pour les engrais [8].

Elément	Exprimé par :	Notes explicatives
Carbone	C	Les éléments 1 -3 existent & peuvent être récoltés de façon individuelle
Hydrogène	H	
Oxygène	O	
Nutriments Primaires		
Azote	N	Existent individuellement. Le Phosphore & le Potassium sont extrêmement volatiles et ainsi existent en forme oxydée. Ils réagissent très rapidement avec l'oxygène.
Phosphore	P ₂ O ₅	
Potassium	K ₂ O	
Nutriments Secondaires		
Soufre	S	Les éléments 8 -9 existent en oxydes
Calcium	CaO	
Magnésium	MgO	
Oligo-éléments		
Boron	B	Ceux ci peuvent exister individuellement
Cuivre	Cu	
Fer	Fe	
Zinc	Zn	

I.6. LES BENEFICES DES DEUX GRANDS TYPES D'ENGRAIS

A. Les engrais organique

Les engrais organiques présentent de nombreux avantages. En effet, les engrais organiques peuvent être produits par un particulier. Moins nocifs que les engrais chimiques, ils permettent tout de même un apport en NPK (azote, phosphore, potasse)

suffisant pour que la croissance et la qualité de la plante soit meilleure qu'un végétal planté dans de la terre pure. De plus, les méthodes de formation d'engrais organique nous permet de nous débarrasser de nos déchets, ce qui, aujourd'hui, commence à devenir un sérieux problème. Et enfin, la formation d'engrais organiques, tels que le lombri compost, permettent de développer une biocénose (ensemble d'êtres vivants évoluant dans un milieu définit).

B. Les engrais chimique

Les engrais chimiques possèdent eux aussi, de nombreux avantages. Peu couteux, l'engrais chimiques est aujourd'hui le plus utilisé dans l'agriculture. S'il est bien plus rentable que l'engrais organique, c'est parce qu'il permet une amélioration spectaculaire des rendements agricoles pour un faible coût. Il existe un type d'engrais chimique particulièrement avantageux : l'engrais à diffusion lente. Pour les agriculteurs (ou jardiniers) qui utilisent des engrais chimiques, l'engrais à retardement permet de ne faire qu'un seul épandage au lieu de deux. Cet engrais permet une faible déperdition des nitrates, qui se perdent normalement dans une nappe phréatique. Cette faible déperdition des nitrates permet un gain de rendement de plusieurs quintaux par hectare à dose égale. De plus, l'apport azoté étant découplé de l'irrigation, il permet d'assurer une continuité dans la nutrition [9].

I.7. LES EFFETS DES ENGRAIS SUR L'ENVIRONNEMENTS

I.7.1. Les effets sur l'homme

Tout d'abord, l'Homme peut souffrir des engrais soit directement, soit indirectement. Les plus touchés par les dégâts directs sont évidemment les agriculteurs.

Des effets sont constatés : ils pourraient être la cause de nombreuses maladies (maladie de parkinson, cancer, leucémie, etc). Les dégâts indirects que causent les engrais nous concernent tous. En effet, lors de l'infiltration dans le sol, les nitrates rendent l'eau des nappes phréatiques impropre à la consommation. Le danger est ici une intoxication par consommation et par accumulation d'éléments dangereux pour l'Homme (nitrates, azotes, etc..). La consommation d'animaux intoxiqués par ces mêmes éléments est aussi un danger supplémentaire pour l'Homme. L'emploi intensif d'engrais azotés peut aussi causer des catastrophes écologiques pouvant être mortelles pour l'Homme [10].

I.7.2. Les effets sur l'environnement

Pour favoriser la qualité et la croissance de sa récolte un agriculteur est aujourd'hui obligé d'utiliser des engrais. Le plus souvent, (sauf pour l'agriculture bio), les engrais utilisés sont les engrais minéraux car leurs prix sont moins élevés que les autres

types d'engrais. De plus, ils augmentent le rendement par hectare, beaucoup plus que tout autre engrais. Leur teneur en azote, nitrate et potasse étant très élevée, ils peuvent donc nourrir les plantes jusqu'à leur capacité d'absorption maximum [10].

La plante absorbe 89% des nutriments nécessaires à sa croissance, mais les 11% restants n'atteignent pas la plante et ont des effets destructeurs sur le biotope.

- **Dépendance des sols** : Les éléments qui ne sont pas absorbés sont néfastes à tout l'écosystème entourant la plante, réduisant la quantité de micro-organismes (bactéries, champignons...) dans le sol, qui sont essentiels à la croissance de la plante. Cette destruction entraîne alors une dépendance aux engrais : plus le sol est pauvre en matière organique, plus les cultures ont besoin d'apports externes...
- **Stérilisation des sols** : Couplé à un mauvais drainage, l'emploi intensif d'engrais risque la salinisation des zones trop arrosées, provoquant ainsi la stérilisation des sols et leur désertification.
- **La couche d'ozone** : La couche d'ozone est aussi affectée par ce problème, car les phénomènes de dénitrification et de volatilisation de l'ammoniac contenu dans les engrais azotés génèrent des gaz à effet de serre environ 150 fois plus actifs que le CO₂. Viennent ensuite les engrais de synthèse qui seraient irrémédiablement convertis en N₂O, causant une attaque importante de la couche d'ozone.
- **Les nappes phréatiques** : Les nappes phréatiques, qui sont situées seulement à une centaine de mètres de profondeur, sont les principales réserves d'eau que nous consommons. Elles sont alimentées par l'eau de pluie qui s'infiltré dans le sol. L'eau de pluie emporte avec elle des particules de terre de sels minéraux, d'engrais ou de produits chimiques répandus sur le sol. Ainsi lorsque les terres agricoles sont saturées en engrais, l'eau emporte donc les NKP (azote, potassium et phosphate), qui polluent donc ces réserves en eau, la rendant impropre à la consommation. Les fleuves et rivières, étant alimentés par les nappes phréatiques, peuvent aussi être pollués. Les nitrates et les phosphates provoquent la prolifération des végétaux aquatiques. Lorsque ceux-ci meurent, leur décomposition consomme le dioxygène contenu dans l'eau, entraînant la mort de la plupart des animaux: c'est le phénomène d'eutrophisation. Cette pollution touche au final plusieurs écosystèmes : les mers, les océans, les fleuves, les forêts.

Plus généralement les conséquences de l'utilisation des engrais, qui peuvent comporter des risques, sont les suivantes :

- Effets sur la qualité des sols, leur fertilité;
- Effets liés au cycle de l'azote ;
- Effets sur l'érosion ;
- Effets liés à la dégradation des engrais inutilisés;

- Effets liés aux autres éléments nutritifs : potassium, soufre, magnésium, calcium, oligo-éléments ;
- Eutrophisation des eaux douces et marines ;
- Effets sur la qualité des produits ;
- Utilisation d'énergie non renouvelable ;
- Pollution émise par l'industrie de production des engrais ;
- Effets indirects sur l'environnement, par la mécanisation pour l'agriculture intensive, et les épandages [9].

I.8. MODE D'APPLICATION DES ENGRAIS

La méthode d'application des engrais (engrais organiques ou engrais minéraux) est une composante essentielle des bonnes pratiques agricoles. La quantité d'éléments nutritifs prélevée par la plante et le rythme de son prélèvement dépendent de plusieurs facteurs tels que la variété végétale, la date de semis, la rotation culturale, les conditions du sol et de climat. Pour suivre de bonnes pratiques agricoles, l'agriculteur choisit judicieusement la période d'apports des engrais et les quantités nécessaires afin que le maximum d'éléments nutritifs soit utilisé par la plante. Afin d'assurer une efficacité optimale dans l'utilisation des engrais et de minimiser les risques potentiels de pollution environnementale, l'agriculteur doit faire rapprocher, dans la mesure du possible, l'application des éléments nutritifs (engrais) dès le moment où la culture en a besoin [10].

Ceci est d'une importance capitale pour les éléments mobiles tels que l'azote, élément qui peut être facilement lessivé du profil du sol, s'il n'est pas prélevé par les racines des plantes. Dans les cas d'épandage d'urée et de phosphate d'ammonium, des pertes pourraient avoir lieu sous forme de volatilisation de gaz d'ammoniac. En cas d'absence de pluie ou d'irrigation après leur apport pour les faire pénétrer dans le sol, ces deux types d'engrais doivent être enfouis dans le sol immédiatement après leur application. Ceci est d'une importance capitale pour les sols alcalins (sols calcaires). Tous les macro-éléments et tous les éléments secondaires doivent être incorporés (enfouis dans le sol) immédiatement après leur application dans les régions où l'on prévoit des chutes de pluie intensives, afin d'éviter les pertes par ruissellement et érosion. Lors de l'épandage des engrais à la volée, il faut prendre des précautions extrêmes afin que les doses exactes soient apportées et que la distribution des éléments nutritifs soit uniforme. Si on utilise des équipements d'épandage, il est absolument nécessaire qu'ils soient convenablement réglés pour assurer un épandage uniforme et appliquer les doses exactes fixées. Il faut aussi assurer un bon entretien de ces équipements [10].

II. LES ENGRAIS PHOSPHATE

II.1. DEFINITION DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE

L'acide phosphorique est un composé chimique de formule H_3PO_4 . C'est un oxacide trifonctionnel (triacide) important en chimie inorganique et fondamental en biochimie. Il s'agit d'un acide minéral obtenu par traitement de roches phosphatées ou par combustion du phosphore et on appelle aussi acide ortho phosphorique.

L'acide phosphorique est préparé à partir de phosphates naturels, par attaque à l'acide sulfurique. Il est principalement destiné à la fabrication d'engrais phosphatés [11].

II.1.1. Définition des engrais phosphatés

Un engrais phosphaté est un fertilisant riche en phosphore (P). Les engrais phosphatés sont surtout préconisés pour favoriser la production florale des végétaux. Par voie de conséquence, les engrais phosphatés favorisent la fructification, puisque les fruits naissent des fleurs. Leur haute teneur en phosphore est également indispensable au bon développement des graines. Ils ont donc tout naturellement leur place dans tous les types de cultures.

On entend parfois parler de superphosphates qui peuvent être simples, concentrés ou triples. Ils sont le résultat d'un traitement par acide (phosphorique ou sulfurique) de phosphates naturels.

Les engrais phosphatés sont largement utilisés dans le domaine de l'agriculture. Mais les particuliers ont aussi recours aux engrais riches en phosphate pour booster la production des plantes fleuries au jardin d'agrément, favoriser la fructification et la qualité des fruits au verger, augmenter le rendement des légumes au jardin potager [12].

I.1.2. Les Types des engrais Phosphatée

Il existe deux grands types d'engrais phosphatés. Ces produits anti-carenciels répondent aux besoins de tous les types d'agriculture, à savoir l'agriculture conventionnelle et l'agriculture biologique [12].

A. L'engrais phosphaté minéral

Cet engrais phosphaté d'origine sédimentaire est produit de façon chimique par des industries extractives. En effet, sa production nécessite que les gisements naturels des

roches soient exploités. Près de 80 % des besoins européens sont fournis par le Proche Orient et l'Afrique du Nord.

Comme tout engrais minéral, l'engrais phosphaté est directement assimilable par les plantes. Il répond donc dans un délai court à certains besoins nutritifs des végétaux. C'est ce type d'engrais riche en phosphates qui est utilisé par l'agriculture conventionnelle, c'est-à-dire à grande échelle [12].

B.L'engrais phosphaté organique

On dispose aussi d'engrais phosphatés naturels à base de matières organiques comme les os séchés et réduits en poudre par exemple ou encore les déjections de volaille. Ces fertilisants se substituent aux engrais phosphatés chimiques. Tous ces engrais se présentent sous différentes formes : solide, liquide, en poudre, en granulés [12].

II.2. FABRICATION DES ENGRAIS PHOSPHATES

La figure I-4 ci-après est un schéma résumant les principes de fabrication des engrais phosphatés. Deux voies, à savoir la voie humide et la voie thermique, sont envisageables pour produire de l'acide phosphorique à partir de la roche phosphatée [13].

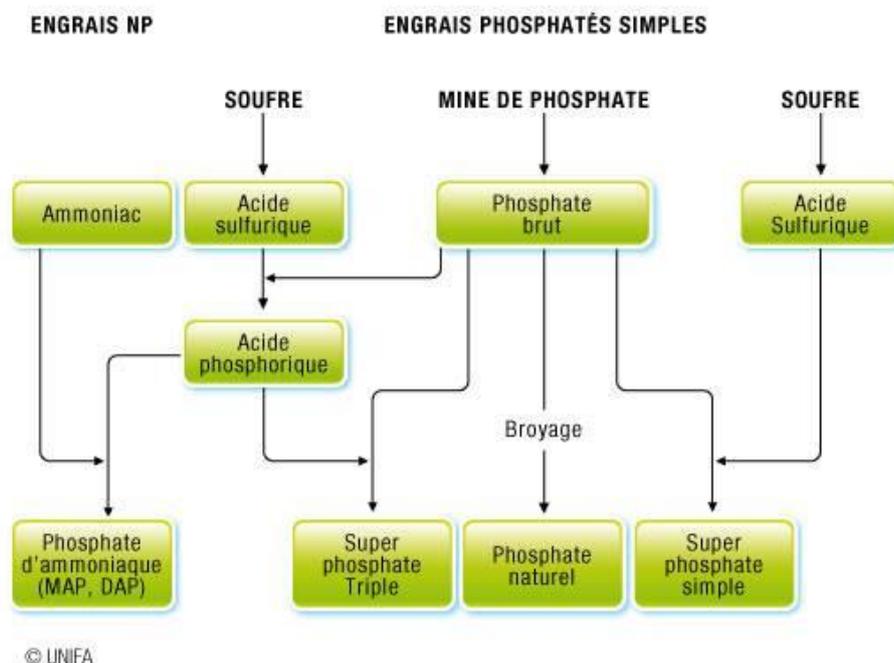
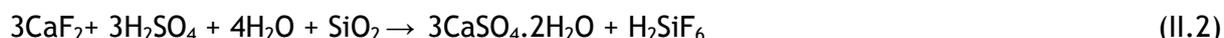


Figure I-4 : Principe de fabrication des engrais phosphatés.

II.2.1.Voix humide

Voie sulfurique : L'acide phosphorique, ou plus correctement acide ortho-phosphorique H_3PO_4 , peut être issu de l'attaque sulfurique de roches naturelles constituées

principalement de fluor phosphates de calcium, de fer et d'aluminium. A ce titre, on peut dire que H_3PO_4 est le plus important des dérivés de l'acide sulfurique. Les réactions principales (toutes exothermiques) de production de l'acide phosphorique, issu de l'acidification de concentrés phosphatés, sont généralement les suivantes :



Principalement par voie humide par attaque du phosphate naturel par l'acide sulfurique, à 80°C, selon la réaction :



Avec $x = 0,5$ pour l'obtention de l'hémi hydrate et $x = 2$ pour l'obtention du di hydrate.

On obtient 2 phases principales : liquide (solution de H_3PO_4) et solide (sulfate de calcium appelé phosphogypse). Les rendements par rapport au phosphate sont de 90 à 98,5 %. Les rendements supérieurs ou égaux à 98 % sont obtenus par un procédé de recristallisation de l'hémi ou du di hydrate avec double filtration.

Le schéma suivant (figure I-5) résume les étapes de fabrication des engrais phosphatés par la voie sulfurique.

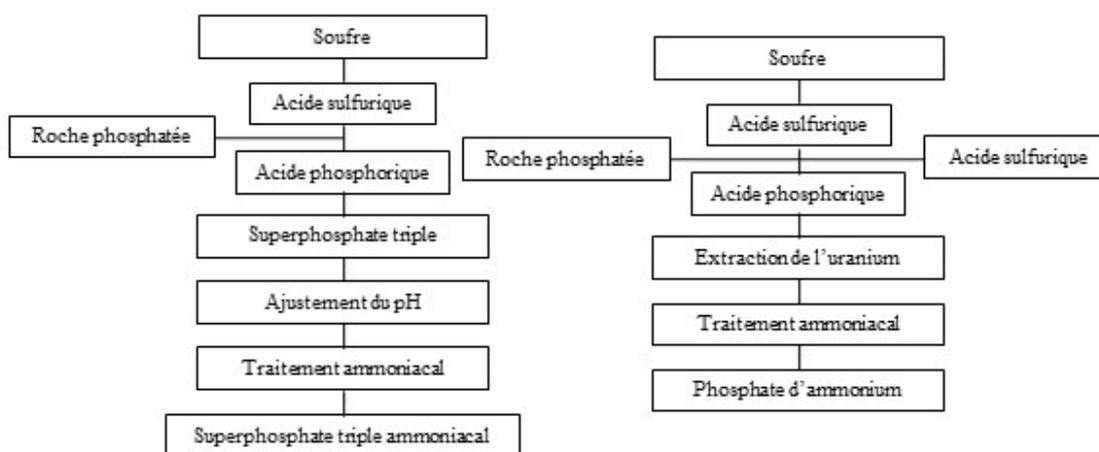


Figure I- 5 : Voie sulfurique pour la production d'engrais phosphatés [14].

L'acide fluorhydrique réagit, en partie, avec la silice présente dans le minerai pour donner de l'acide fluosilicique (H_2SiF_6), le reste est fixé pour éviter son rejet dans l'atmosphère. L'acide fluosilicique est utilisé pour produire des fluosilicates et des fluorures. Chaque semaine, les unités de production doivent être arrêtées pendant environ 16 h pour éliminer, par lavage à l'eau, l'acide fluosilicique et les fluosilicates déposés dans les installations.

La capacité des unités de production est de 600 à 1000 t P_2O_5 /jour.

On distingue deux procédés (di hydrate et héli hydrate) selon l'état d'hydratation du sulfate de calcium CaSO_4 .

A. Procédé di hydrate : c'est le procédé le plus courant (Rhône-Poulenc, Playon, Nissan, Mitsubishi). La moitié des sites de production utilise la technologie Prayon.

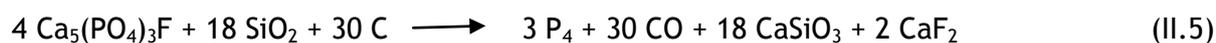
Après broyage du phosphate naturel, celui-ci est attaqué par l'acide sulfurique concentré (à 98,5 %), en présence d'eau. Une filtration à l'aide d'un filtre rotatif permet de séparer l'acide phosphorique (contenant en moyenne 29 % de P_2O_5) du phosphogypse. L'acide phosphorique est ensuite concentré par évaporation de l'eau afin d'obtenir un acide à 54 % de P_2O_5 , soit un acide à 75 % de H_3PO_4 .

Ce procédé présente l'inconvénient de produire un acide relativement peu concentré (de 26 à 32 % de P_2O_5) qui nécessite une importante consommation d'énergie pour sa concentration par évaporation d'eau. Le rendement par rapport au phosphate est de 94 à 96 %, une partie du phosphate co-cristallisant avec le sulfate de calcium qui contient jusqu'à 0,75 % de P_2O_5 .

B. Procédé héli hydrate : donne directement de l'acide à plus de 40 % de P_2O_5 et ne nécessite pas de broyage préalable du minerai, mais le procédé est plus délicat à maîtriser. Par ailleurs, le rendement est plus faible, de 90 à 94 % par rapport au phosphate, l'héli hydrate contenant jusqu'à 1,1 % de P_2O_5 .

II.2.2. Voie thermique

L'acide phosphorique très pur destiné au traitement de surfaces métalliques, à la microélectronique ou à l'acidification des boissons peut être élaboré par voie thermique par réduction du phosphate naturel, en présence de coke et de silice, au four électrique vers 1200-1500 °C selon la réaction.



Les consommations, pour 1 t de P_2O_5 à 100 %, sont de 3,9 t de phosphate à 29 % de P_2O_5 , 1,3 t de silice, 0,6 t de coke et de 13 000 à 15 000 kWh d'électricité.

Le phosphore obtenu sous forme de vapeur est condensé sous eau pour obtenir du phosphore blanc qui est ensuite oxydé en P_2O_5 puis hydraté en acide. Cette voie qui donne un acide de très haute pureté est peu à peu abandonnée au profit de la voie humide suivie d'une purification par extraction liquide-liquide. En 2007, en Europe, 95 % de la production d'acide était assuré par la voie humide [15].

III. LES ENGRAIS NPK

III.1. DEFINITION DES ENGRAIS NPK

Par réaction entre matières premières et produits intermédiaires, phosphates naturels, ammoniac, acides nitrique, sulfurique et phosphorique, chlorure et sulfate de potassium, on obtient sous forme de granules,

- Des engrais ternaires NPK
- Des engrais binaires NP, tels que les phosphates d'ammoniaque
- Des engrais binaires NK, tels que le nitrate de potassium [13].

Les engrais NPK appartiennent pour la majorité des produits proposés, à la grande famille des engrais minéraux, c'est-à-dire qu'ils proviennent de l'industrie chimique.

Les NPK tirent d'ailleurs leur nom des éléments chimiques qui les composent (l'azote au symbole N, le phosphore au symbole P et le potassium au symbole K). Pour être estampillés NPK, il faut que ces engrais disposent au moins de 3 % de chaque élément chimique. Cependant, certains procédés permettent d'obtenir azote (corne et os), phosphore (phosphates) et potassium (guano, betterave) de manières naturelles.

Les engrais NPK sont des fertilisants génériques qui agissent sur le développement de toutes sortes de plantes. En revanche, ils n'agissent pas sur la fertilité du sol.

Selon leur application, chacun de ses éléments chimiques va avoir un impact direct sur une partie des plantations. Ainsi, l'azote va favoriser le développement de la partie aérienne des plantes, la croissance de la tige et des feuilles et encourager la photosynthèse. Le phosphore va jouer sur l'enracinement, la bonne maturation des fruits

et la résistance globale du végétal. Enfin la potasse va influencer et augmenter la résistance aux différentes maladies, stimuler la pousse des fleurs et des fruits, renforcer les capacités des réserves des racines et accentuer la pigmentation des produits [16].

Les engrais composés déjà granulés ou compactés sont mélangés entre eux pour constituer une nouvelle formule. Les particules peuvent être de taille et de formes différentes. Leur contenu en éléments nutritifs est différent de celui de la formule déclarée après mélange.

L'engrais le plus polyvalent a un dosage identique pour les 3 valeurs (10-10-10) alors qu'un engrais fort sera plutôt 20-10-10, correspondant pour chacun des composants au pourcentage de la masse [17].

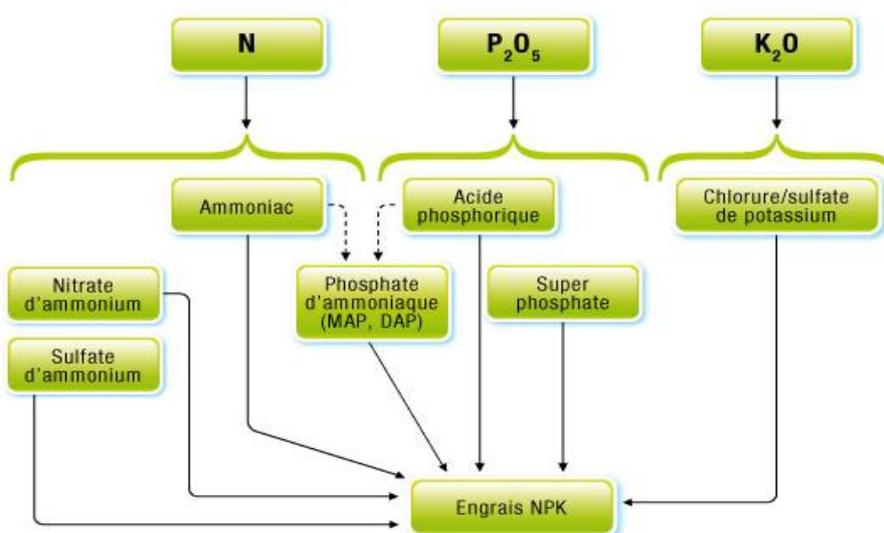


Figure I-6: Principe de fabrication des engrais NPK.

III.2. Les limites des NPK

Les engrais chimiques qui ne comprennent que les NPK sont incomplets, il y manque les macroéléments (magnésium, soufre, calcium...) dont la plante a besoin et les oligoéléments qui correspondent à de nombreux sels minéraux (de zinc, de bore, de sélénium...). Pour avoir un fertilisant complet, et rester dans une démarche éco-responsable, il faut utiliser des engrais organiques (corne broyée, guano...) et amendements organiques (compost, fumier...).

D'autant que cette fertilisation rend plus improbable les erreurs de dosage et les déséquilibres dans le sol et dans la plante. Par contre, l'action est plus lente mais davantage soutenue dans le temps [17].

III.3. Localisation de Production

III.3.1. Azote

Jusqu'aux années 60, le développement de l'industrie de l'azote a eu lieu en Europe de l'Ouest, en Amérique du Nord et au Japon. A la fin des années 70 et au début des années 80, l'augmentation des coûts de l'énergie dans les économies industrialisées, le manque de demande et les faibles -ou même négatifs-retours sur investissements se sont combinés pour causer la fermeture d'unités produisant des millions de tonnes d'ammoniac et d'engrais azotés. Dans les années 80 et au début des années 90, la construction de nouvelles usines s'est effectuée dans les pays riches en gaz des Caraïbes et du Proche Orient et aussi dans quelques grands pays consommateurs tels que la Chine, l'Inde, l'Indonésie et le Pakistan [18].

Un maximum de 1141 millions de tonnes en 1989. Pratiquement toute l'augmentation de capacité s'est produite en ex URSS et en Asie. Entre 1989 et 1995, la capacité mondiale est restée relativement stable, avec les augmentations en Asie compensées par les fermetures en Europe et ex URSS.

Des résultats financiers améliorés entre 1994 et 1997, et un approvisionnement très tendu en ammoniac en début 1995, ont entraîné beaucoup de producteurs d'ammoniac et d'engrais azotés à réaliser ou à considérer des projets pour désengorger les capacités existantes ou réaliser de nouvelles usines. Les nouveaux projets ont été localisés dans les principales régions exportatrices et dans les principales régions consommatrices et importatrices [18].

Tableau III-1 : Capacités de production d'ammoniac [18].

Région	Ammoniac (x 1000 tonnes de N)			
	1985	1990	1995	2000
Europe de l'Ouest	14 274	13756	11078	11308
Europe de l'Est	11 099	9474	7727	7871
Ex URSS	N.d	22114	20792	19238
Amérique du Nord	16 794	16079	16183	19448
Amérique Latine	5 833	5988	5415	8548
Afrique	1 437	1752	1976	1882
Proche Orient	4 952	6769	7119	8824
Asie du Sud	8 704	10405	12979	15812
Asie de l'Est	21 872	27002	30730	33774

III.3.2. Potasse

La potasse est produite là où les mines sont localisées, elle est ainsi fortement concentrée dans quelques pays. Une grande proportion de la potasse exploitée entre dans le commerce international. Environ 70 % des échanges mondiaux sont réalisés en brut et 10 à 12 % sont exportés sous forme d'engrais complexes. Le Canada et l'ex URSS représentent deux tiers des exportations mondiales [18].

Les sels de potassium se trouvent en gisements souterrains ou dans les lacs salés. Les sources commercialement rentables sont distribuées moins largement que dans le cas des phosphates. L'Amérique du Nord, principalement le Canada, et l'ex Union Soviétique possèdent 85 % des réserves économiques connues et une part semblable des réserves de base. Bien que la potasse, que le phosphate, soit une ressource non-renouvelable, les réserves connues ainsi que les ressources sont beaucoup plus importantes que pour le phosphate. Néanmoins, dans les 50 prochaines années, quelques producteurs de potasse seront obligés d'exploiter des minerais de qualité inférieure, des couches plus profondes ou des régions plus éloignées [18].

III.3.3. Phosphate

Au cours de vingt dernières années, il y a eu une tendance vers le traitement du phosphate naturel dans les pays ayant des ressources naturelles substantielles de ce minerai, surtout en Afrique du Nord et aux Etats Unis d'Amérique, mais aussi au Proche Orient et en Afrique du Sud et de l'Ouest.

L'intégration de l'exploitation minière et de la transformation du phosphate offre des avantages techniques et économiques considérables, mis à part l'économie évidente réalisée en transportant des engrais fortement concentrés, de forte valeur, comparés à du phosphate naturel. Il y a eu de nombreuses fermetures d'usines en Europe de l'Ouest où la capacité et la production d'acide phosphorique ont baissé de 60 % depuis 1980, pour des raisons économiques et environnementales [18].

En 1968, 52 % de la production d'acide phosphorique étaient localisés en Amérique du Nord, 26 % en Europe de l'Ouest, 7 % en URSS et 6 % au Japon c'est-à-dire que ces pays représentaient 91 % de la production totale mondiale. En 1998, 83 % de la capacité étaient localisés dans les régions ayant les gisements de phosphate naturel.

Pendant les trente dernières années, l'augmentation de la consommation de phosphate à été en général réalisé par des engrais à base d'acide phosphorique.

Tableau III-2 : Capacités de production d'acide phosphorique [18].

Région	Acide phosphorique (x 1000 tonnes P ₂ O ₅)			
	1985	1990	1995	2000
Europe de l'Ouest	4 257	3 386	1 877	1 797
Europe de l'Est	2 045	2 048	1 781	1 725
Ex URSS	5 975	5 941	6 306	6 198
Amérique du Nord	12 170	11 677	11 945	12 757
Amérique latine	1 339	1 772	1 593	1 958
Afrique	4 244	5 355	5 446	6 363
Proche Orient	2 213	2 255	2 122	2 743
Asie du Sud	726	553	773	1 836
Asie de l'Est	1 063	1 357	2 130	3 700

CONCLUSION

D'après les recherches bibliographiques effectuées, nous avons constaté qu'en effet, il y'a un net développement dans le domaine des engrais. Cela se manifeste par leur large utilisation à travers le monde, ainsi que par les recherches scientifiques et les innovations qui ne cessent d'apporter de nouvelles formules et compositions afin d'obtenir des produits d'un rendement de plus en plus optimal.

Nous avons, dans cette partie, mis le point sur la matière première principale des engrais phosphatés et des engrais NPK, qui est le phosphate qui peut être remplacé dans certains cas par de l'acide phosphorique, ainsi que sur les différentes étapes de leurs fabrications.

Partie II

CONTROLE STATISTIQUE DE LA QUALITE

Partie II

CONTROLE STATISTIQUE DE LA QUALITE

INTRODUCTION

Le contrôle qualité est un aspect de la gestion de la qualité. Le contrôle est une opération destinée à déterminer, avec des moyens appropriés, si le produit (y compris, services, documents, code source) contrôlé est conforme ou non à ses spécifications ou exigences préétablies et incluant une décision d'acceptation, de rejet ou de retouche. Il présente un aspect très important dans l'industrie moderne et touche la majorité des secteurs de production et de marketing. Un des outils utilisés pour tendre vers cette qualité est " la maîtrise statistique des processus" ou MSP.

Au cours de cette partie nous allons montrer l'importance des méthodes statistiques appliquées à la qualité et à la gestion des risques. Nous avons, pour cela, divisé cette partie en deux sections. La première est dédiée au contrôle de qualité, la définition, les caractéristiques ainsi que ses types. La deuxième est concernée par les différentes méthodes statistiques du contrôle de qualité.

I.1. LA QUALITE

I.1.1. Définition

Le mot « qualité » est de plus en plus utilisé dans les entreprises, que ce soit dans le secteur alimentaire, industriel ou même dans le secteur des services. La notion de qualité est apparue avec le contrôle des produits visant à réduire le nombre de leurs défauts. Cette notion de qualité a évolué avec le temps et a étendu son champ d'action vers les phases de conception, production, installation, marketing, après-vente et soutien logistique. En particulier dans le monde industriel, cette notion est complexe et peut se voir assigner un sens différent suivant les personnes et les entités considérées.

La norme NF X 50 -120 [NF X 50 1992] définit la qualité comme étant : « l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites ». Cette définition est doublement générique, il faut préciser la

qualité « de quoi » (d'un produit, d'un processus, d'un service, ...) et aussi les besoins « de qui » (un utilisateur, un consommateur, un chef de projet...) [19].

Le terme qualité ne peut donc pas être défini dans l'absolu mais toujours relativement à quelque chose et pour une entité donnée. En effet, le terme « qualité » regroupe plusieurs aspects en fonction du besoin ou de la phase abordée :

- Pour un client ou pour un utilisateur : la qualité c'est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des ses utilisateurs,
- Pour la production : la qualité d'un système de production réside dans son aptitude à produire au moindre coût et dans un court délai des produits satisfaisant les besoins des consommateurs,
- Pour l'entreprise ou une organisation : la qualité consiste en la mise en œuvre d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout son personnel pour améliorer :
 - La qualité de ses produits et services,
 - L'efficacité de son fonctionnement,
 - La pertinence et la cohérence de ses objectifs.

Dans le même sens, le dictionnaire de l'APICS (*American Production and Inventory Control Society*) a proposé une définition plus complète de la qualité selon différents points de vue de la qualité « conformité au besoin ou aptitude à l'emploi » :

- Une qualité transcendée est un idéal, une condition de l'excellence,
- L'approche « produit » de la qualité est fondée sur les attributs du produit,
- L'approche « utilisateur » de la qualité est l'aptitude à l'emploi,
- L'approche « production » de la qualité est la conformité au besoin,
- L'approche « valeur » de la qualité est le degré d'excellence pour un prix acceptable.

La qualité externe : correspondant à la satisfaction des clients. Il s'agit de fournir un produit ou des services conformes aux attentes des clients afin de les fidéliser et ainsi améliorer sa part de marché.

La qualité interne : correspondant à l'amélioration du fonctionnement interne de l'entreprise .L'objet de la qualité interne est de mettre en œuvre des moyens permettant de décrire au mieux l'organisation, de repérer et de limiter les dysfonctionnements [19].

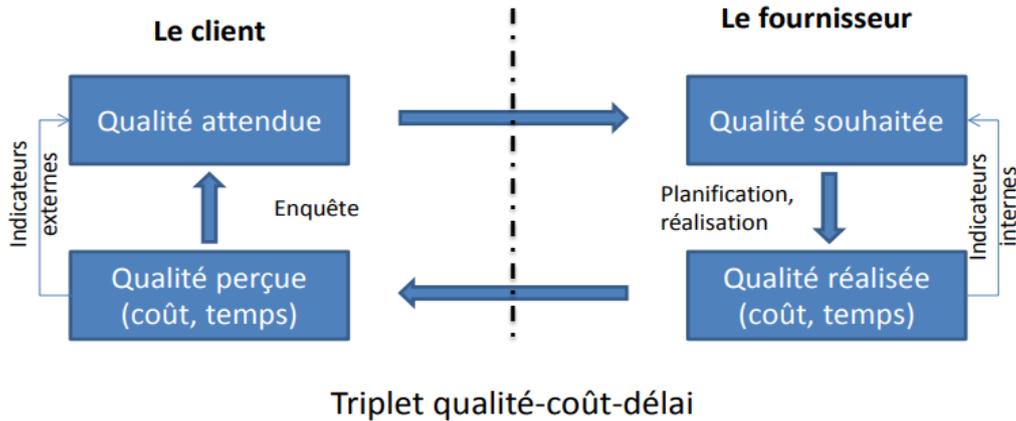


Figure I-1 : Triplet qualité.

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

I.2.1. Définition

Le contrôle est un acte technique permettant de déterminer la conformité d'un produit. Pour effectuer un contrôle sur un produit, il faut au préalable en déterminer les caractéristiques et choisir les limites (les usineurs diraient les tolérances) à l'intérieur desquelles le produit est conforme. Il faut que ces limites soient connues par le « contrôleur » qui effectuera le contrôle.

Les contrôles effectués doivent être enregistrés et les enregistrements comprendre au moins les données suivantes

- Le nom du matériel ou du produit et, le cas échéant, son dosage.
- Le numéro de lot et, le cas échéant, le nom du fabricant et/ou du fournisseur
- Les références aux spécifications correspondantes et aux procédures de contrôle.
- Les résultats des analyses, y compris les observations et les calculs ainsi que les références à tout certificat d'analyse.
- Les dates des contrôles.
- Une décision claire d'acceptation ou de refus (ou toute autre décision sur le statut du produit), la date et la signature du responsable désigné.
- Les initiales des personnes qui ont vérifié les analyses et les calculs, le cas échéant.
- La référence aux équipements utilisés.

I.2.2. Les caractéristiques d'un contrôle

Pour choisir les caractéristiques d'un contrôle, il faut tenir compte des contraintes techniques (criticité de la caractéristique à contrôler, précision nécessaire de l'appareil de mesure, qualification du personnel effectuant le contrôle, etc.) mais également des contraintes économiques. L'aspect économique joue sur la nature du contrôle, sur les moyens à engager et sur les caractéristiques à contrôler. Il faut choisir en priorité, les caractéristiques ayant une influence sur la sécurité, la fonctionnalité du produit. Le risque associé à la non détection doit être pris en compte. Le donneur d'ordre peut limiter ce choix en imposant un certain nombre de caractéristiques à contrôler et/ou de contrôles à effectuer.

A. La fréquence de contrôle

Si un contrôle est effectué de manière systématique sur la totalité (100 %) des pièces, il permet d'effectuer un tri et d'éliminer directement les non-conformités. C'est une méthode souvent longue et coûteuse qui ne peut être choisie systématiquement.

Le contrôle par prélèvement a plutôt pour objectif de détecter une dérive de la fabrication. Les méthodes peuvent être empiriques. Dans ce cas, l'on choisit une fréquence et une taille de prélèvement du type « x pièces toutes les heures », « tous les lots de fabrication » etc. Les méthodes peuvent être de type statistique en utilisant des méthodes MSP où des normes spécifiques à ce type de contrôle.

B. Types de contrôle

➤ Contrôle non destructif

Doit être contrôlé : mesures dimensionnelles, électriques, de couleur, etc. De mêmes certaines méthodes de contrôle appelées non destructives (contrôle par ultrasons, contrôle par ressuage, etc.) permettent de contrôler certaines caractéristiques comme la santé matière.

➤ Contrôle destructif

Dans certains cas, il n'est pas possible de contrôler une caractéristique sans détruire le produit à contrôler. Il est donc impossible de contrôler toutes les pièces. Le contrôle destructif d'un nombre limité de produit valide un lot⁶. Dans ce cas le contrôle s'accompagne ou même parfois est remplacé par un contrôle des paramètres de fabrication

(température, pression, intensité électrique, etc.) ayant une influence sur l'obtention de la caractéristique ne pouvant être mesuré que par un procédé destructif.

➤ Contrôle indirect délocalisé

Lorsque la pièce a une géométrie complexe ou lorsqu'il est nécessaire d'effectuer des contrôles sur des zones inaccessibles pour les instruments de mesure (fond de filet, sillon, orifice, paroi intérieure d'une pièce...), le contrôle indirect délocalisé permet d'éviter le contrôle destructif pour toutes les mesures dimensionnelles, de rugosité et d'état de surface. Le contrôle n'est plus effectué directement sur la pièce, mais sur son empreinte.

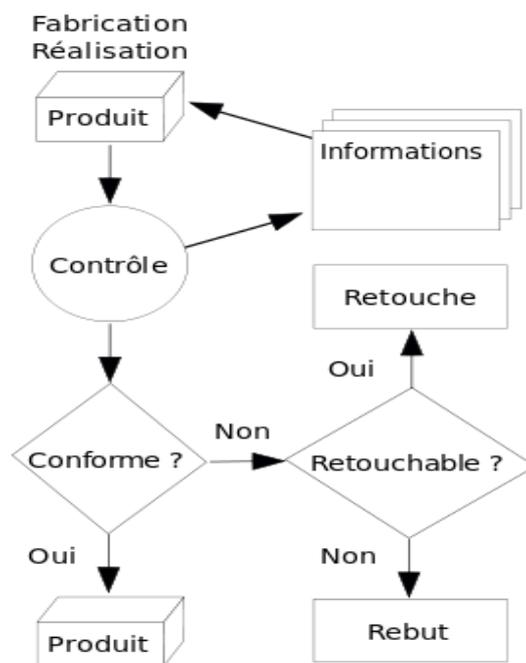


Figure I-2 : Les étapes de contrôle de qualité.

Il implique également qu'à l'issue de l'acte technique de contrôle, une décision soit prise en ce qui concerne la conformité :

- Produit conforme ;
- Produit non conforme qui doit être rebuté ;
- Produit non conforme pouvant être retouché ;
- Produit non conforme pouvant être accepté en dérogation.

I.2.3. Modes de contrôle

A. Le contrôle à 100% : consiste à vérifier systématiquement tous les individus qui constituent le lot en ne laissant passer que ceux ayant une conformité au cahier des charges. Il est coûteux par son reclassement (retouches, rebuts et produits déclassés) et par l'emploi d'un grand nombre de contrôleurs. Le contrôle 100% s'impose dans le cas du contrôle de produits à forte valeur ajoutée dont la défaillance entraîne la défaillance de l'ensemble. En revanche il est impraticable pour assurer la qualité des produits qui ne sont contrôlables que par des essais destructifs.

B. Le contrôle par échantillonnage : consiste à vérifier les individus d'un échantillon prélevé au hasard dans le lot. Ce mode de contrôle est nécessaire dans les cas suivants :

- Produits standards de sous-traitance
- Produits fabriqués en grande quantité et à grande vitesse (exemples : vis, écrou, composants électroniques)
- Produits nécessitant un contrôle destructif

II. CONTROLE STATISTIQUE DE LA QUALITE DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

II.1. GENERALITE

Il n'est pas possible de créer des produits avec des caractéristiques parfaitement identiques (blancheur de papier, contenance en crème dans les flacons, souplesse d'un tissu, ...). Il est impossible d'améliorer la qualité sans connaître la variabilité des processus de production. Les méthodes statistiques permettent d'évaluer cette variabilité

- Un processus qui varie uniquement de façon aléatoire (fluctuation D'échantillonnage) est dit sous contrôle statistique.
- Un processus qui varie pour des causes identifiables (non aléatoires) est dit hors contrôle statistique.
- Contrôle de fabrication et contrôle de réception
- Contrôle qualitatif : la pièce est vérifiée par rapport à un étalon pour voir si elle est conforme ou non.

✓ Contrôle quantitatif : une caractéristique de la pièce est mesurée et l'on vérifie si la mesure est dans l'intervalle de tolérance.

II.2. OBJECTIFS DE L'AMELIORATION DE LA QUALITE DANS L'INDUSTRIE

Deux objets ne sont jamais rigoureusement identiques. Quelles que soient les techniques utilisées pour fabriquer ces objets, si précis soient les outils, il existe une variabilité dans tout processus de production.

L'objectif de tout industriel est que cette " variabilité naturelle " demeure dans des bornes acceptables. C'est une préoccupation majeure dans l'amélioration de la qualité industrielle. Un des outils utilisés pour tendre vers cette qualité est " la maîtrise statistique des processus" ou MSP [23].

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, 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.

A. Paramètre de position

➤ Moyenne (\bar{X})

La moyenne ne se définit que pour une variable statistique quantitative.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i n_i x_i$$

Avec :

x_i : résultat de l'échantillon de contrôle

n_i : 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. [20]

➤ Mode Valeur la plus représentée dans la liste

B. Paramètre de dispersion

➤ **Ecart-type (ET) (σ)** :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 [20].

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

➤ **La variance (V)**

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

✓ 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

➤ **Coefficient de variation (CV %)**

Paramètre statistique indiquant la dispersion des valeurs au niveau de la moyenne (\bar{X}) 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 [20].

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

Tels que : ET : écart type = σ

\bar{X} : moyenne

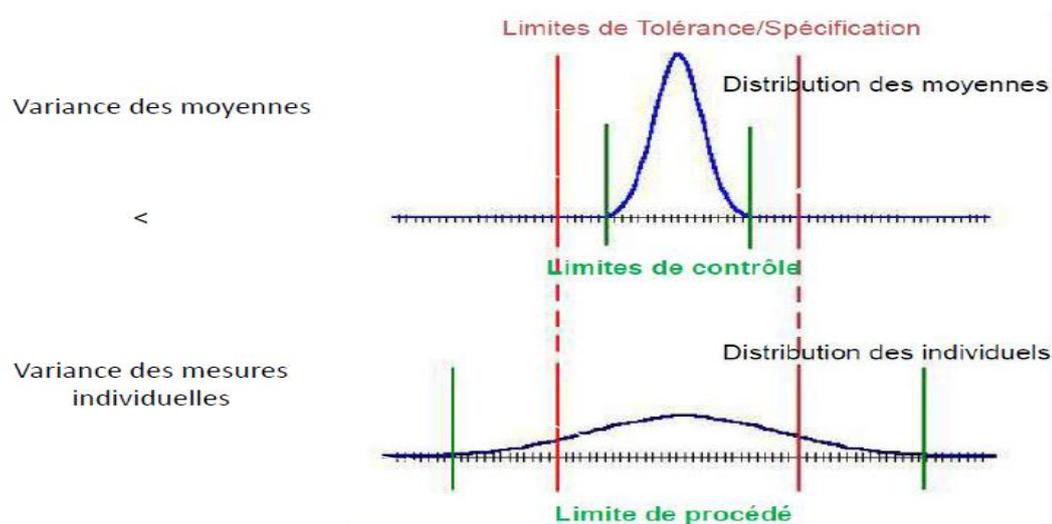


Figure II-1 : Courbe de distribution des moyennes et individuels.

➤ **Etendue** : Différence entre la plus petite et la plus grande des valeurs observées [20].

$$R_t = \max(Y_i) - \min(Y_i)$$

C. Modèles mathématiques pour la variabilité

➤ Loi de distribution de probabilités discrètes

Loi binomiale : soit un processus qui consiste en n essais indépendants d'une même expérience aléatoire, dont l'issue de chaque essai se traduit par un « succès » ou un « échec ». Si la probabilité d'un « succès » est p , alors la probabilité que le nombre de succès, noté X soit égal à k est donné par :

$$p(X = k) = C_n^k p^k (1 - p)^{n-k}$$

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Loi de Poisson : la fonction de probabilité d'une variable aléatoire de poisson est donnée par :

$$p(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

➤ Loi de distribution de probabilités continues

Loi de distribution normale (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. Une variable X aléatoire suit une loi normale, si sa fonction de densité de probabilité est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

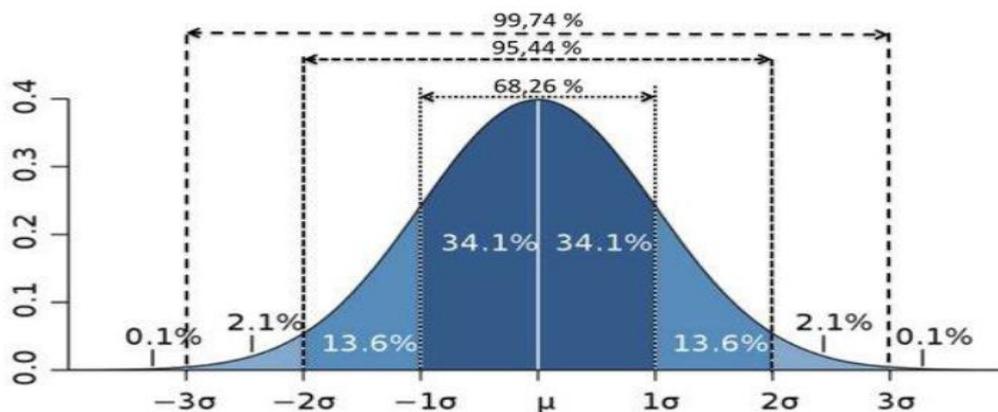


Figure II-2 : Une courbe en forme de cloche ou courbe de gauss.

II.3.2. Plans d'expériences

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles [21].

Avec les plans d'expériences on obtient le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences [21].

II.3.2.1. Intérêt et Domaines d'applications

Ils permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche Scientifique ou des études industrielles.

Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt, y , et des variables, x_i . On peut notamment citer : industries chimiques, pétrochimiques et pharmaceutiques, industries mécaniques et automobiles, industries métallurgiques.

Leur utilisation vise aux buts suivants :

- Détermination des facteurs clés dans la conception d'un nouveau produit (formulation) ou d'un nouveau procédé
- Optimisation des réglages d'un procédé de fabrication ou d'un d'appareil de mesure
- Prédiction par modélisation du comportement d'un procédé

Les plans d'expériences s'inscrivent dans une démarche générale d'amélioration de la qualité.

II.3.3. Carte de contrôle

La carte de contrôle est un graphique de surveillance des dérives ou déviations par rapport aux limites d'acceptation. C'est un outil de vérification des caractéristiques du produit en cours de fabrication. Ce contrôle se fait à des étapes et à des moments prédéterminés. On prélève des produits à intervalles fixes en fonction de la cadence (ou vitesse) de production.

On effectue les tests et on mesure les échantillons.

- S'ils satisfont aux tests et leurs mesures sont à l'intérieur des limites acceptables préalablement définies alors la production continue.
- Sinon, on arrête la production, on procède aux réajustements nécessaires et on rejette la partie de la production ne répondant pas aux normes établies.

L'outil principal servant au contrôle en cours est la carte de contrôle qui est un schéma de surveillance sur lequel sont tracées les limites acceptables d'un produit.

Par définition, la carte de contrôle CC est une carte sur laquelle sont tracées les limites d'acceptation (LTS et LTI, LCS et LCI, LSS et LSI) d'un produit. (Tolérance, contrôle, surveillance)

On distingue deux types principaux de cartes de contrôle :

➤ **Les cartes de contrôle par mesure ou par variable :** pour les variables quantitatives (masse, dimension, concentration). Elles servent à vérifier les caractéristiques d'une production en se fondant sur la mesure d'un caractère quantitatif d'un échantillon prélevé de la population. Pour les cartes de contrôle par mesure, il existe plusieurs types de cartes :

1. les CC pour les unités (CCXi)
2. les CC pour les moyennes ($CC\bar{X}$ ou CCm)
3. les CC pour les étendues et le range (CCw/CCR)
4. Les CC de l'écart type ($CC\sigma$ ou CCs)

➤ **Les cartes de contrôle par attributs ou par calibres :** pour les variables qualitatives (couleur, goût, esthétique). Elles servent à estimer la proportion de mauvaises pièces ou défectueuses. Il existe principalement 3 types de cartes :

1. les cartes type p (CCp) lorsque le contrôle porte sur les proportions p ou sur le pourcentage de mauvaises pièces par prélèvement
2. les cartes type $n\bar{p}$ lorsque le contrôle porte sur le nombre de pièces défectueuses par prélèvement (CCnp)
3. les cartes type c (CCc) lorsque le contrôle porte sur le nombre de défauts par pièce.

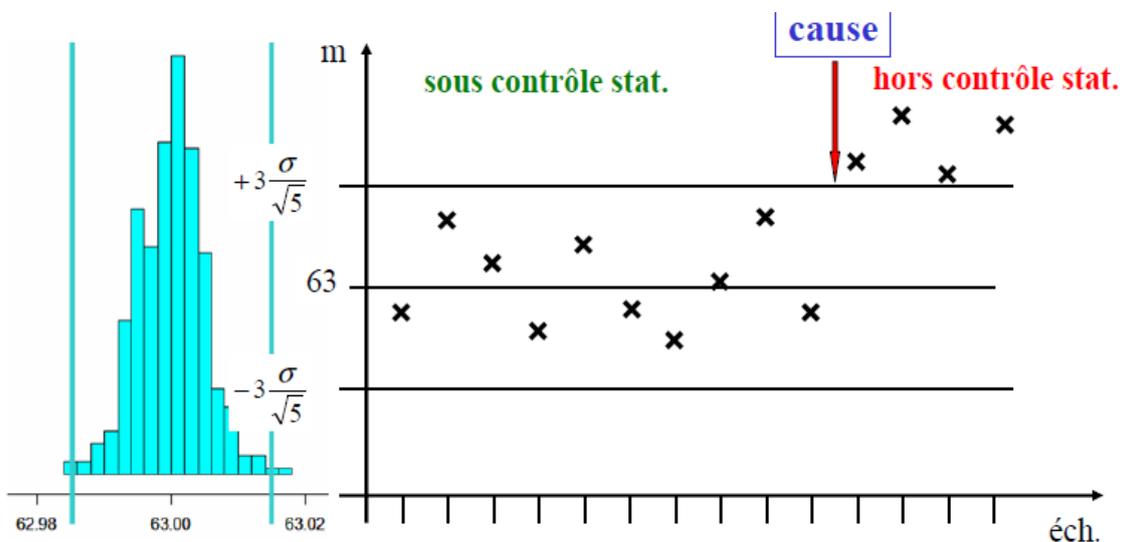


Figure III-3 : Construction d'une Carte de Contrôle.

III.3.3.1. Outils de base pour le contrôle des procédés.

L'objectif est de maîtriser un processus mesurable par suivi graphique temporel basé sur des fondements statistiques. Les causes des variations peuvent être classées en deux catégories:

- -Causes communes (aléatoire, stable et uniforme)
- -Causes spéciales (assignable).

Le meilleur outil pour déterminer la cause de la variation est la carte de contrôle. Une carte de contrôle permet d'isoler les causes des variations spéciales et ainsi les éradiquer pour rendre le processus stable, prévisible et sous contrôle.

➤ Causes des dispersions

• Causes communes:

- ✓ Dispersion aléatoires (habituel)
- ✓ Pas de modèle, pas de tendance
- ✓ Inhérent au processus

• Causes spéciales

- ✓ Dispersion systématique (inhabituel)
- ✓ Peut suivre une tendance, un modèle
- ✓ Assignable, explicable, contrôlable

Dispersion totale = Dispersion systématique + Dispersion aléatoire

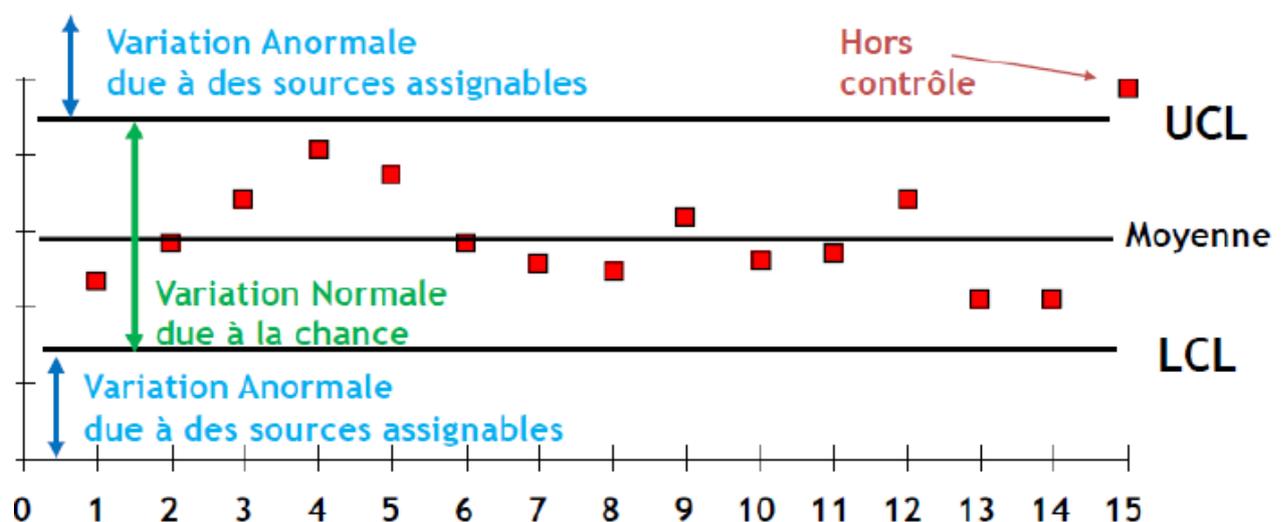


Figure III-4 : Cartes de contrôle du paramètre (variation).

III.3.3.2. Intérêt et Domaines d'applications [22]

Les cartes de contrôle présentent de multiples 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.

III.3.4. Indice de capabilité

Avant de placer un procédé sous contrôle, il est nécessaire de vérifier qu'il est capable de réaliser la caractéristique contrôlée en respectant les tolérances [22].

A. **Les indices de capabilité machine (C_m et C_{mk}) (court terme) :** 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) [23].

$$C_m = IT / 6 \sigma$$

$$c_{mk} = \min [(x - T_i) / 3\sigma; (T_s - x) / 3\sigma]$$

Dont :

- ✓ IT : Intervalle de tolérance
- ✓ σ : Ecart type
- ✓ X : moyenne
- ✓ T_s : tolérance supérieure
- ✓ T_i : tolérance inférieure

B. **Les indices de capabilité procédée (C_p et C_{pk}) (long terme) :**

L'Indice de capabilité 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 ≥ 1.33

$$C_{PI} = \mu - LIS / 3\sigma$$

$$C_{PS} = LSS - \mu / 3\sigma$$

$$C_{PK} = \min (C_{SP}, C_{IP})$$

$$C_P = LSS - LIS / 6\sigma$$

Dont,

- ✓ μ : moyenne
- ✓ σ : écart type

- ✓ LSS : limite supérieur de spécification
- ✓ LIS : limite inférieur de spécification

CONCLUSION

Au cours de cette partie nous avons présenté des généralités sur le contrôle de la qualité. 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.

Partie III

Procédés de fabrication des engrais NPK

Partie III

Procédés de fabrication des engrais NPK

INTRODUCTION

Nous avons, pour ce projet de fin d'études, planifier d'effectué un stage de 45 jours dans l'entreprise FERTIAL. Au cours de cette période, nous avons programmé d'étudier le processus de fabrication des engrais de formule (NPK 3x15). Suite à la pandémie du corona virus SARS-CoV-2. Le stage pratique a été annulé et la collecte de donnée de fabrication a été réalisée à distance.

Dans cette partie, nous allons donner une brève description du complexe FERTIAL, nous expliquerons ensuite, les étapes du processus de fabrication des engrais de formule NPK (3x15) avec les différentes étapes de production ainsi que les paramètres physico-chimiques à analyser, à savoir le pH, le taux d'humidité, le pourcentage d'enrobage, la dureté et le pourcentage de K_2O .

I. PRESENTATION DE FERTIAL, ANNABA

I.1. HISTORIQUE

Le complexe d'engrais phosphatés et azotés d'Annaba a été construit en 1972 par la société SONATRACH dans le but de satisfaire les besoins du pays en fertilisants et éventuellement exporter les excédents.

En 1985 suite à la restructuration de SONATRACH, ASMIDAL a été créé pour prendre en charge la production, la commercialisation et le développement des activités en engrais. En 1997 L'E.P.E ASMIDAL a retenu dans son plan de restructuration la filialisation des deux plates-formes de production d'Annaba et d'Arzew, c'est ainsi qu'en l'an 2000 les filiales Alzofert (Arzew) et Fertial (Annaba) ont vu le jour.

Le 04/08/2005, ASMIDAL et le Groupe Vilar Mir (Espagnol) ont conclu un accord de partenariat pour les deux plates-formes (Arzew) et (Annaba) réservant une majorité de 66% à la partie espagnole.

En 2017 : rattachement du groupe ASMIDAL, ses participations et l'entreprise FERTIAL du secteur de l'industrie et des mines au ministère de l'énergie, groupe SONATRACH, par la résolution du CPE n 12/154 du 12/10/2017.

I.2. PRODUCTION DE L'ENTREPRISE

Les différents produits fabriqués sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau I-1 : production des différents produits fabriqués.

Unités	Capacité (tonnes /an)
Engrais phosphatés (NPK - TSP)	550 000
Super simple phosphate SSP	40 000
Ammoniac NH_3	330000
Acide nitrique HNO_3	264 000
Nitrate d'ammonium NH_4NO_3	330 000

I.3. PROCÉDE DE FABRICATION DES ENGRIS NPK

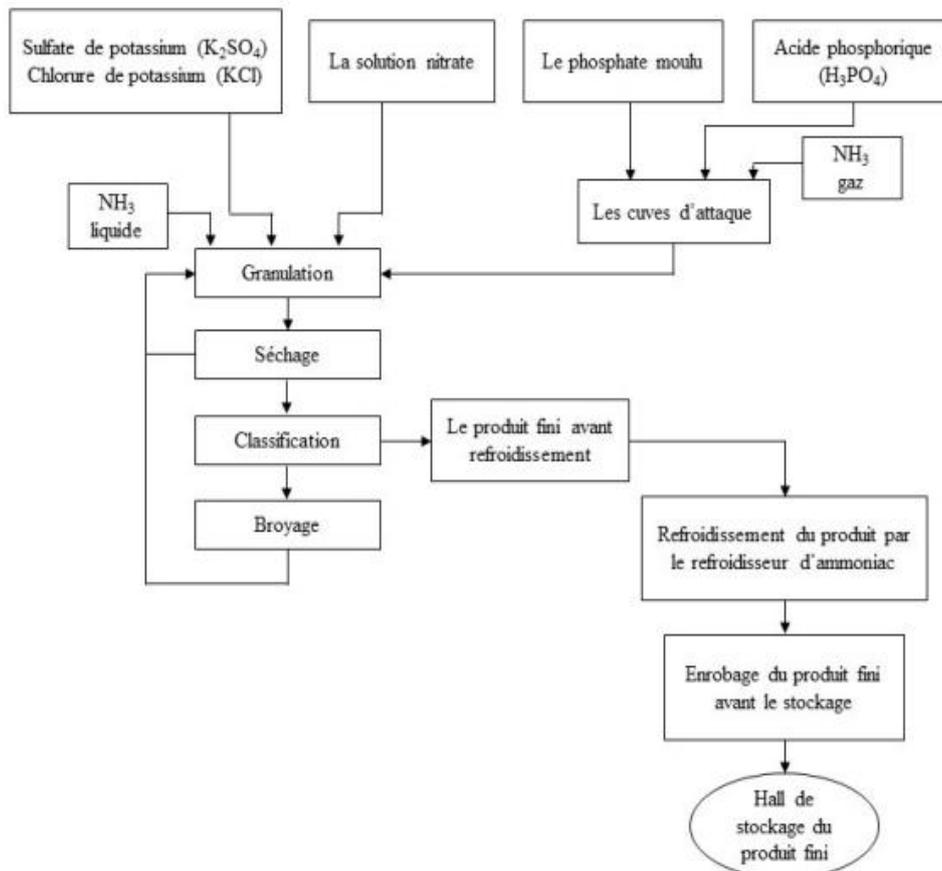


Figure I-1 : Processus général de fabrication des engrais NPK.

1. Préparation de la matière première ;
2. Préparation de la bouillie ;
3. Granulation ;
4. Séchage du produit ;
5. Classification et broyage du produit ;
6. Refroidissement du produit ;
7. Assainissement et lavage des gaz ;

Le contrôle et la vérification de la disponibilité du produit avant d'entamer la fabrication est indispensable.

I.3.1. Préparation de la matière première

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

- Le sulfate de potassium (K_2SO_4) ;
- L'acide phosphorique (H_3PO_4) ;
- Phosphate broyé;
- Solution nitrate (NH_4NO_3), ou produit équivalent ;
- L'ammoniac (NH_3) ;

Le phosphate : D'une façon plus précise le phosphate broyé entre 80 et 95% passe au tamis de 160 micron, et stocker dans des silos à phosphate de capacité de 1200 tonnes. Le phosphate est utilisé comme matière première pour la fabrication des NPKs, NPKcl, et du TSP (0.46).

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.

I.3.2. 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 à 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.

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.

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 résultat 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.

I.3.3. Granulation et séchage

La granulation du produit est effectuée dans le granulateur rotatif, avec la bouillie en provenance du réacteur secondaire d'une part et le produit recyclé et la solution nitrate d'autre part (pour les NPKs et les NPKcl).

Pour la fabrication de sulfazote, la phase liquide utilisée pour la granulation au niveau du granulateur est la solution nitrate. Pour la fabrication du produit TSP (0.46.0), la phase liquide utilisée pour la granulation est seulement la bouillie prévenant du réacteur secondaire. Pour la granulation du SSP poudre, on utilise l'eau chaude comme une phase liquide de granulation.

Le tambour granulateur est conçu de manière à permettre la surveillance de l'évolution du milieu en granulation, le produit ainsi granulé tombe par gravité directement dans le tube sécheur. Les gaz émanant du granulateur sont aspirés puis mélangés avec les gaz de réaction des cuves d'attaque primaire et secondaire avant le lavage. Le granulateur est construit en matériaux résistant aux conditions de service.

Cette étape s'effectue à co-courant, à l'aide des gaz chauds (la chauffe) obtenus par combustion du gaz naturel dans le générateur, débitant par l'intermédiaire d'une boîte de liaison directement dans le tube sécheur, qui présente une conception cylindrique très classique.

I.3.4. Classification

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

La première classification s'est effectuée, puis par l'intermédiaire d'une simple goutotte 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.

I.3.5. 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 au paravent, 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.

I.3.6. 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.

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.

I.3.7. 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.

La tranche granulométrique ayant un diamètre inférieur à 2 mm est appelée « fines », les matières premières utilisées pour le recyclage des fines NPKs sont :

- Les fines de produit conforme NPKs/NPKcl ; Les fines de produit conforme NPKs/NPKcl sont arrivés à partir de la salle des fines d'unité de conditionnement des engrais après le passage du produit fini sur son tamis finisseur.
- L'eau chaude Les fines seront ensuite transférées vers le hall de matières premières de l'unité NPK pour être granulées avec de l'eau chaude et transférées sous forme d'un produit fini avec une granulométrie adéquate.
-

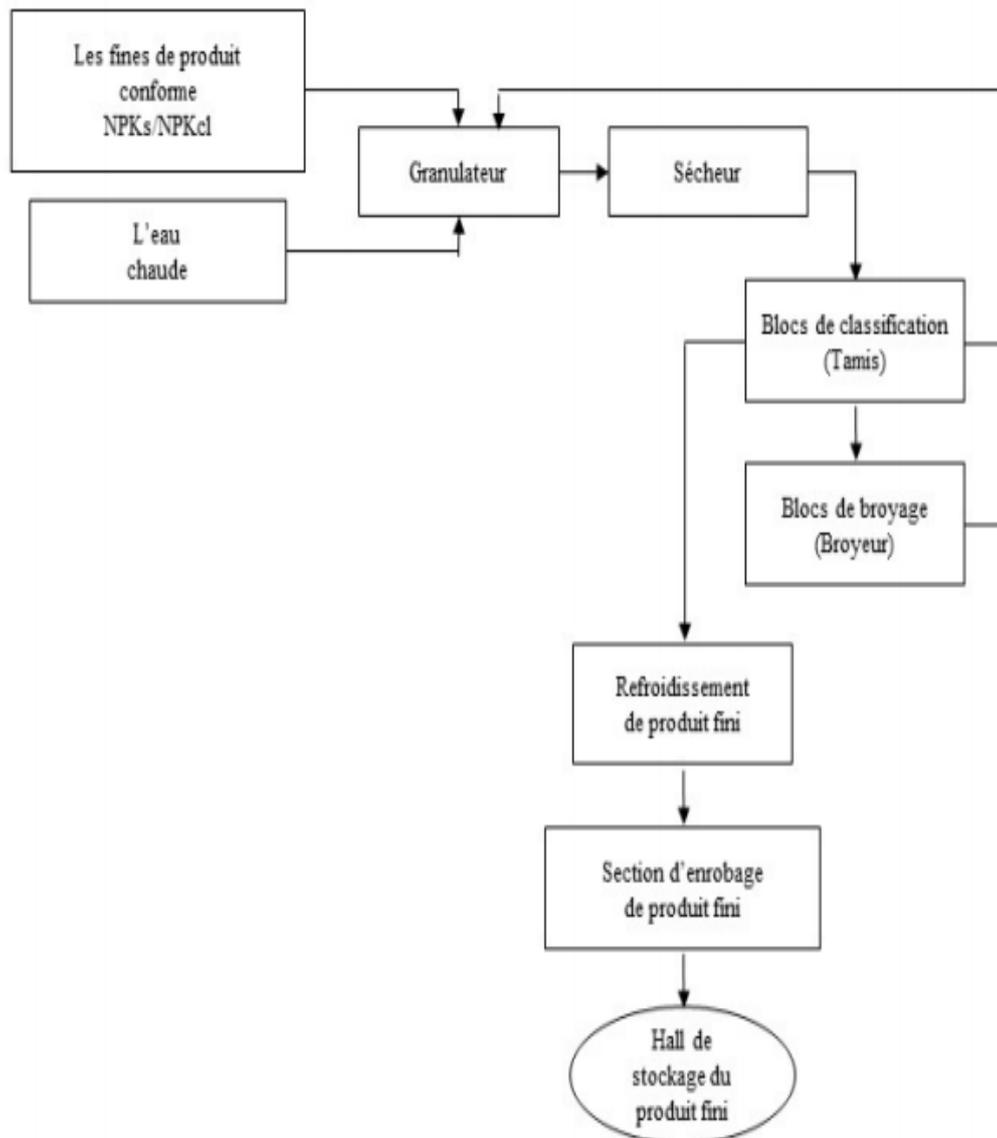


Figure I-2 : Circuit de recyclage.

I.3.8. 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.

I.4 MATERIEL UTILISE POUR LE CONTROLE QUALITE DU PRODUIT

Tableau I-2 : matériel utilise pour le contrôle qualité du produit

Nom	le paramètre mesuré	Photo
Appareil d'analyse du pourcentage d'humidité	Taux d'humidité	 <p>Photo 1 : Appareil d'analyse du pourcentage d'humidité</p>
Duromètre	Dureté	 <p>Photo 2 : Duromètre</p>
pH-mètre	pH	 <p>Photo 3 : pH-mètre</p>
Spectrophotomètre à flamme	Taux de K ₂ O	 <p>Photo 4 : Spectrophotomètre à flamme</p>

CONCLUSION

Nous avons essayé à travers cette partie de mieux comprendre le processus de fabrication des engrais NPK (3x15) et assimiler chacune de ses étapes. La collecte des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques a été réalisée à distance. Cependant, un tableau de différents moyens d'analyse des ces paramètre au niveau de laboratoire central FERTIAL a été présenté.

PARTIE VI EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION

PARTIE VI EXPLOITATION STATISTIQUE DES DONNEES DE FABRICATION

INTRODUCTION

L'exploration de données, connue aussi sous l'expression de fouille de données, forage de données, prospection de données, *data mining*, ou encore extraction de connaissances à partir de données, a pour objet l'extraction d'un savoir ou d'une connaissance à partir de grandes quantités de données, par des méthodes automatiques ou semi-automatiques. Elle propose d'utiliser un ensemble d'algorithmes issus de disciplines scientifiques diverses telles que les statistiques, l'intelligence artificielle ou l'informatique, pour construire des modèles à partir des données, c'est-à-dire trouver des structures intéressantes ou des motifs selon des critères fixés au préalable, et d'en extraire un maximum de connaissances.

La maîtrise statistique des procédés (MSP) est le contrôle statistique des processus au travers de représentations graphiques montrant les écarts à une valeur donnée de référence, il sert à anticiper sur les mesures à prendre pour améliorer n'importe quel processus de fabrication industrielle.

Pour l'exploitation statistique des données de fabrication des engrais NPK (3×15) nous avons choisi le logiciel mathématique STATISTICA. C'est un système complet et intégré d'analyse des données, de représentation graphique, de gestion de bases de données et de développement d'applications personnalisées, offrant une large gamme de procédures élémentaires ou avancées pour les sciences, le *data mining* et toutes les applications industrielles ou commerciales.

I.1 FONCTION ANALYTIQUE DU LOGICIEL STATISTICA

STATISTICA offre non seulement des procédures pour les statistiques, les graphiques et la gestion analytique des données, mais également un ensemble complet de méthodes spécialisées pour l'analyse des données (par exemple, le *data mining*, les sciences sociales, la recherche biomédicale ou les applications industrielles et commerciales). Tous les outils analytiques de la gamme STATISTICA sont des composantes intégrées du logiciel. Ces outils peuvent être pilotés par diverses interfaces-utilisateur, notamment :

- Une interface-utilisateur interactive et intuitive (avec la possibilité d'exécuter STATISTICA depuis Microsoft Office ou d'autres applications).
- Une interface-utilisateur en client léger, basée sur un navigateur Internet (au travers de Web STATISTICA) qui permet d'accéder à STATISTICA depuis tout ordinateur au monde, pourvu qu'il soit relié à Internet.

I.2.SPECIFICITES

Parmi les fonctionnalités exclusives de la gamme STATISTICA :

- Le choix et la richesse des procédures analytiques proposées,
- La large palette, la qualité et les possibilités de personnalisation des graphiques, intégrés de façon automatique avec toutes les procédures de calcul,
- L'efficacité et la convivialité de l'interface-utilisateur,
- L'architecture ouverte, compatible avec la plupart des environnements informatiques et de développement (notamment .NET), qui donne accès à plus de 14.000 fonctions proposées dans STATISTICA,
- L'utilisation d'un grand nombre de nouvelles technologies informatiques de pointe qui sont à l'origine des capacités quasi-illimitées de STATISTICA, de sa performance (rapidité, précision) et de ses possibilités de personnalisation.

LES RESULTATS D'ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ETUDIE

L'étude statistique a été réalisée sur la base des résultats d'analyses de cinq paramètres physico-chimiques, à savoir le taux d'humidité, le pH, le taux d'enrobage, la dureté et le taux de K₂O. La collecte de ces données a été réalisée sur une période d'environ 25 jours.

Tableau I-1 : Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques étudiés.

Date	Paramètre	Taux d'humidité (%)	Dureté	pH (sol à 10%)	Taux d'enrobage (%)	Taux de K ₂ O (%)
01/01		1	4,68	5,59	0,11	14,56
02/01		1	5,34	5,62	0,1	14,48
03/01		1,1	4,59	5,78	0,17	14,44
04/01		1,17	4,6	5,8	0,11	14,08
05/01		1,5	3,1	6,11	0,2	14,6
06/01		1,3	3,78	5,6	6,12	14,76
07/01		0,8	3,68	5,58	0,14	15,44
08/01		0,3	3,17	5,7	5,5	15,18
09/01		1,31	3,9	5,76	0,37	13,49
10/01		1,13	3,9	5,76	0,37	13,49
11/01		0,9	3,8	5,5	0,24	13,57
12/01		1,4	3,66	5,8	0,2	14,06
13/01		1,3	3,66	5,8	0,2	14,06
14/01		1,3	3,3	5,44	0,12	14,81
15/01		1,31	3,9	5,76	0,37	13,49
16/01		1,3	3,37	6,15	0,15	15,18
17/01		1,3	3,37	6,15	0,15	15,18
18/01		1,2	3,16	5,44	0,12	15,56
19/01		1,3	2,98	5,4	0,18	14,44
20/01		1,1	3,18	5,62	0,23	15
21/01		0,9	3,78	5	0,2	14,88
22/01		1,2	3,1	5,2	0,1	14,72
23/01		0,7	3,86	5,75	0,8	15,09
24/01		1	3,86	5,2	0,23	14,91
25/01		0,95	3,81	5,3	0,14	14,26

I. EXPLOITATION STATISTIQUE DES RESULTATS

Tableau II-1 : Spécifications des paramètres physico-chimiques du produit fini.

Caractéristique	Valeur minimale tolérée	Valeur maximale tolérée	Unité
Taux d'humidité	-	1.3	%
Taux de K ₂ O	13.9	16.1	%
Dureté	4.5	-	%
pH	5.5	-	-
Taux d'enrobage	0.1	0.2	%

II.1. Statistique élémentaire

Tableau II-2 : Les calculs statistiques élémentaires des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Calculs élémentaires	Moyenne \bar{X}	Ecart type (σ)	Coefficient de variation (CV)
Taux d'humidité		1,1108	0,2548	22,942
Dureté		3,7412	0,5613	15,0051
Ph		5,6324	0,2809	4,9877
Taux d'Enrobage		0,6648	1,5264	22,9604
Taux de k ₂ O		14,5492	0,6008	4,1294

En théorie des probabilités et statistiques, le coefficient de variation également nommé écart type relatif, est une mesure de dispersion relative. est souvent exprimé en pourcentage. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Par contre plus la valeur de ce dernier est faible, plus l'estimation est précise.

Le calcul statistique élémentaire des résultats d'analyse de pH et le taux de K_2O présente des faibles valeurs de coefficient de variation ($< 5\%$) ce qui explique une faible variation de ces valeurs de dosage autour de la moyenne. Le coefficient de variation des résultats d'analyse de la dureté, taux d'humidité et le taux d'enrobage sont respectivement de 15,00 ; 22,94 et 22,96 % ce qui présente un dysfonctionnement dans le processus de fabrication.

II.2 LES CARTES DE CONTROLE

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. Par exemple un processus de fabrication pourra être mis à l'arrêt avant de produire des pièces qui seront non-conformes.

Les types de graphiques de contrôle les plus utilisés dans l'industrie sont les graphiques de contrôle de la moyenne et de l'étendue. Dans ce travail, deux graphiques sont tracés et interprétés simultanément. Ces graphiques permettent d'effectuer un réglage du processus de fabrication et de connaître sa capacité machine.

Le contrôle de la qualité est « dynamique ». Il ne s'intéresse pas au résultat isolé et instantané, mais au suivi des plusieurs paramètres dans le temps.

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 (I-1).

Dans notre étude une interprétation simultanée des cartes de contrôle des cinq paramètres physico-chimiques analysés à savoir la dureté ; le taux d'humidité ; le taux d'enrobage ; le pH et le taux de K_2O a été réalisée. Ces cartes de contrôle sont présentées respectivement sur les figures II-1 ; II-2 ; II-3 ; II-4 ; II-5.

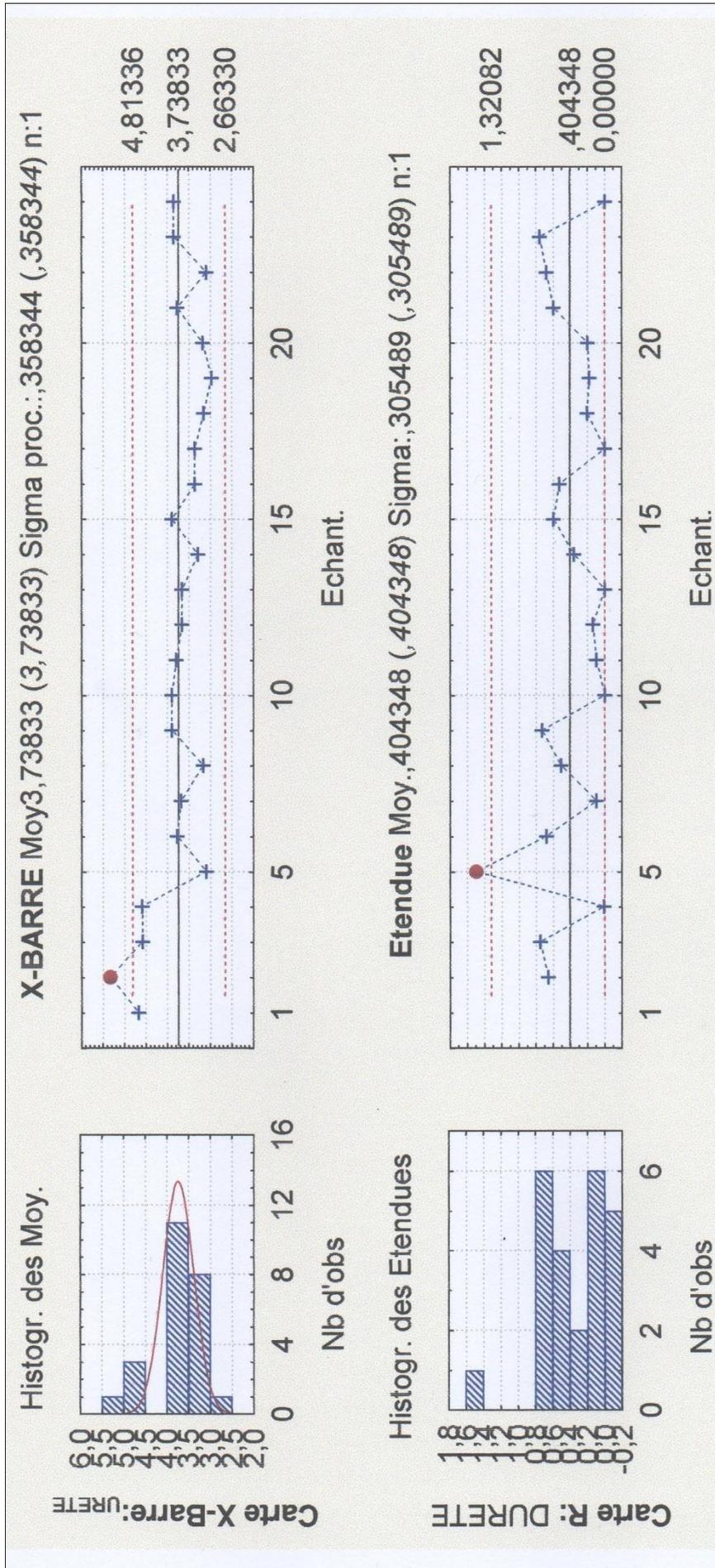


Figure II-1 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre « la dureté »

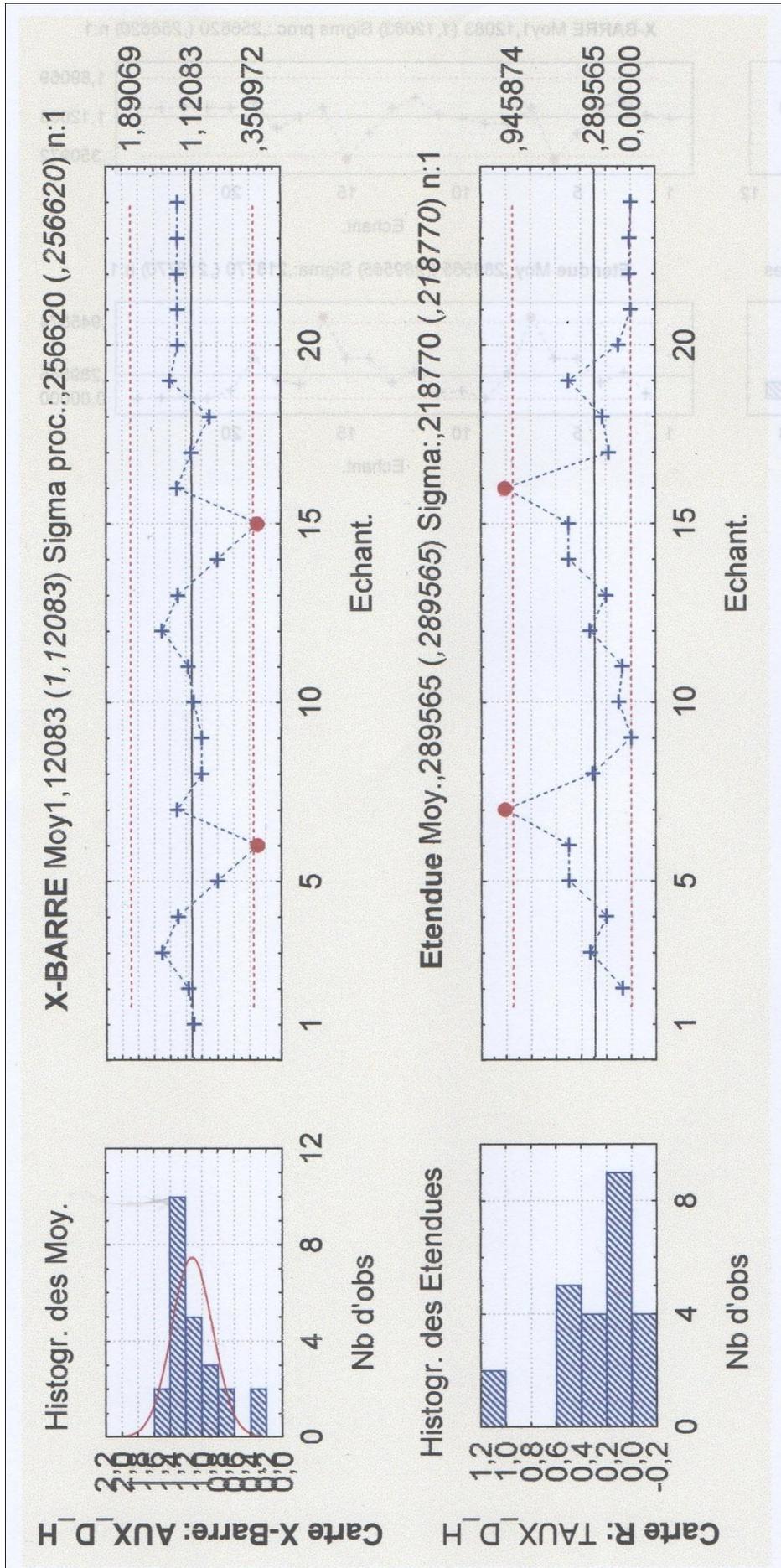


Figure II-2 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre « le taux d'humidité»

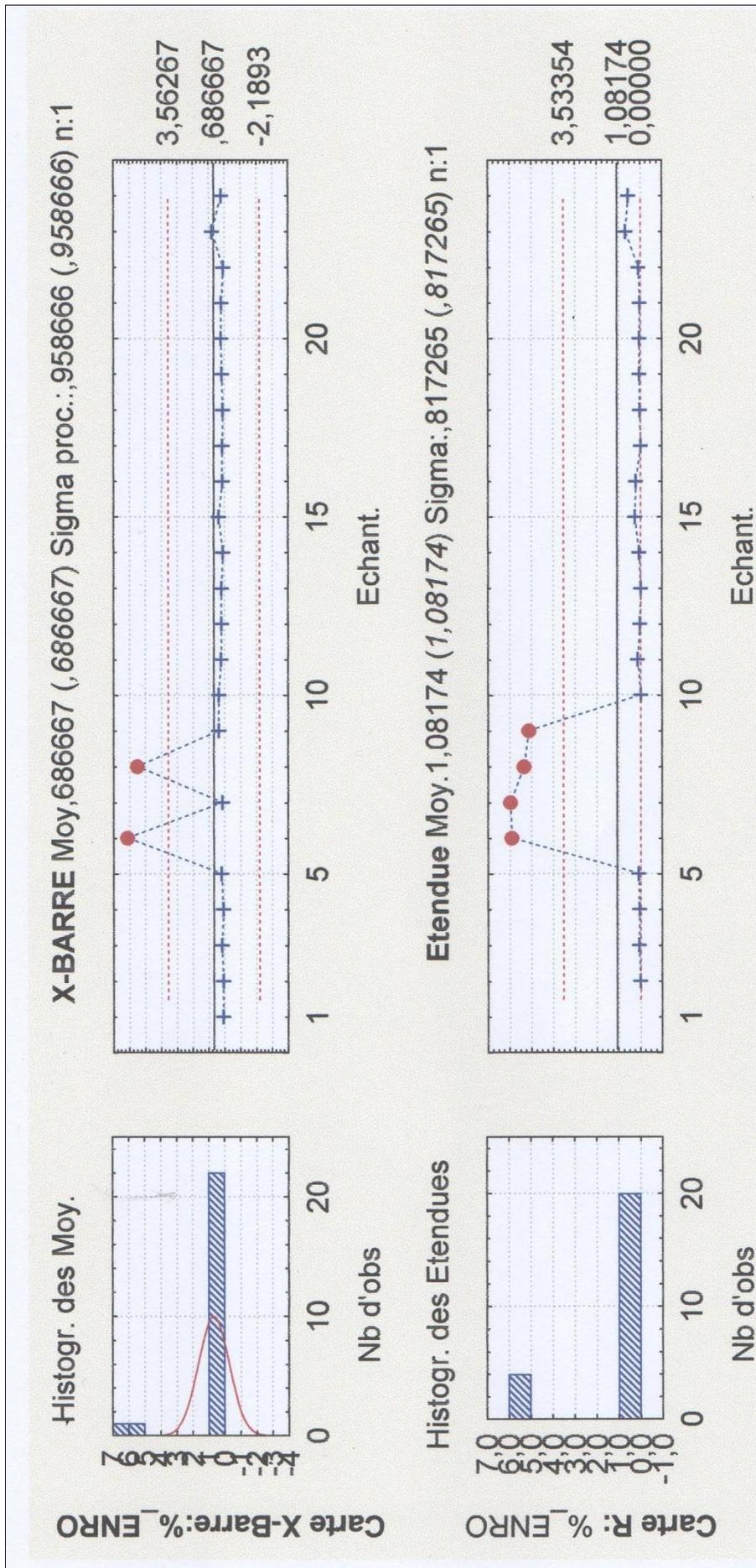


Figure II-3 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendue du paramètre « le taux d'enrobage»

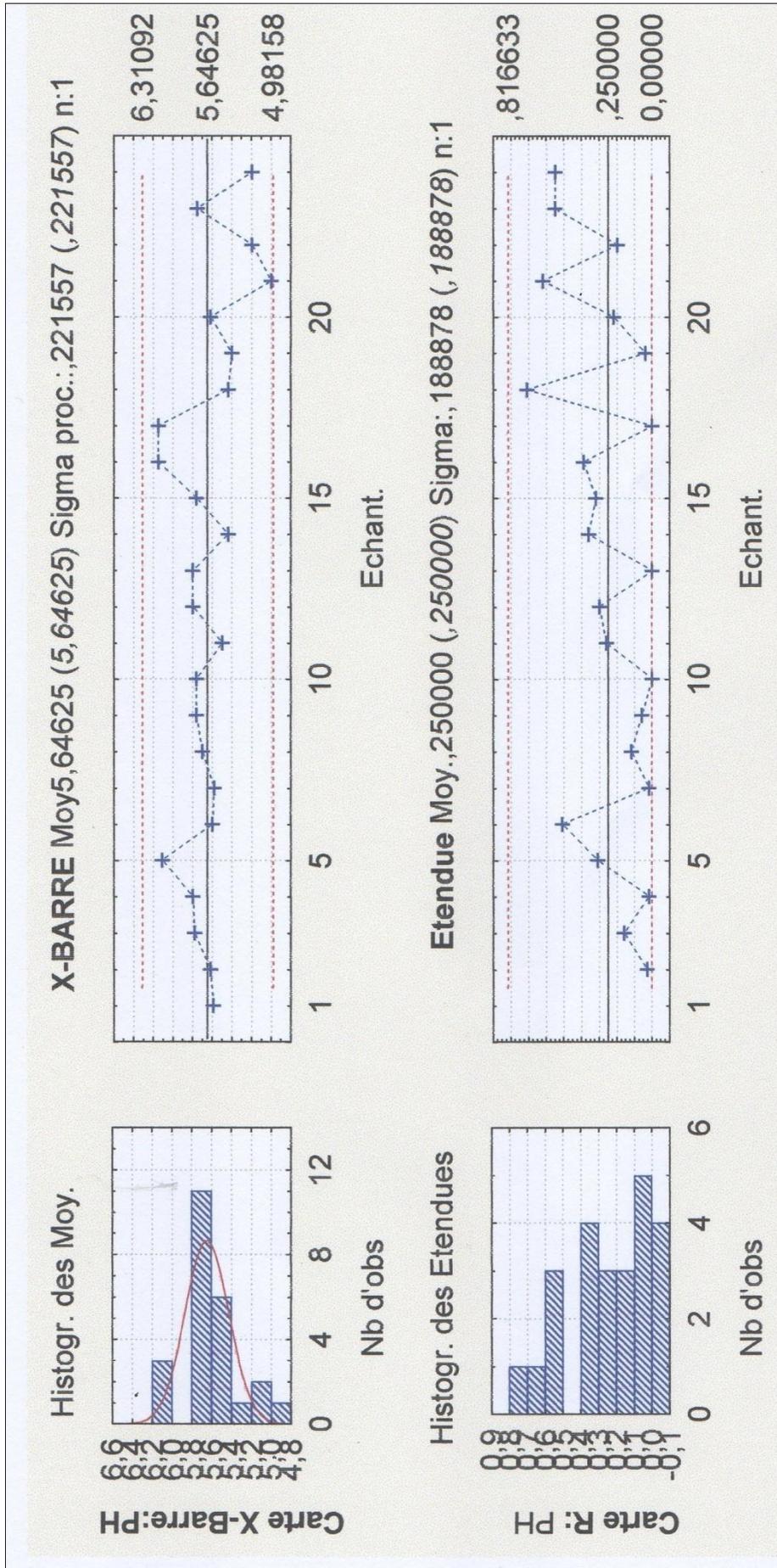


Figure II-4 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre « pH »

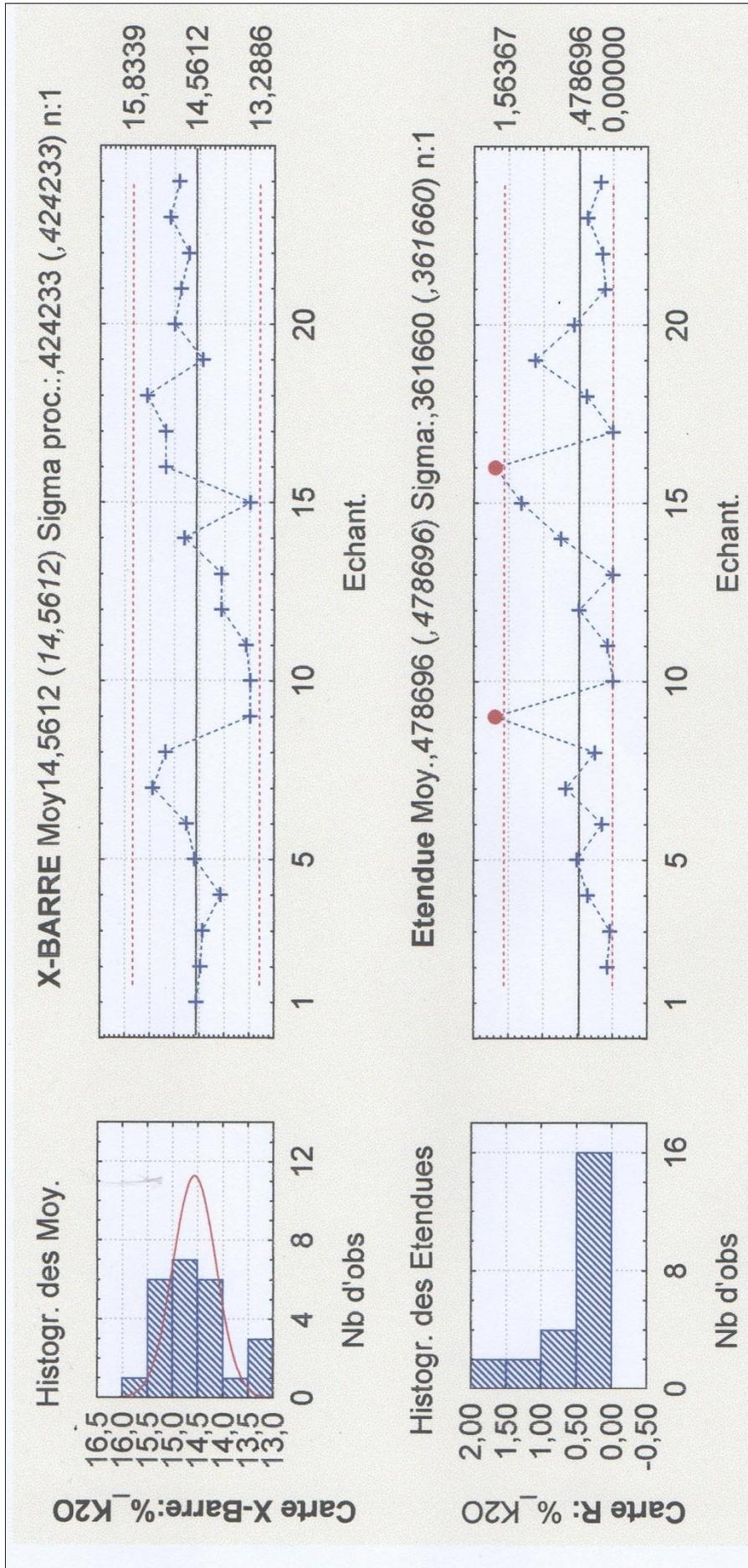


Figure II-5 : Cartes de contrôle de la moyenne et l'étendu du paramètre « le taux de K₂O »

La carte de contrôle est un graphique chronologique dont les points représentent le suivi d'une caractéristique du processus. La valeur centrale (la moyenne) est représentée par une ligne horizontale. La limite inférieure de contrôle (LCL en anglais, LIC en français) et la limite supérieure de contrôle (UCL en anglais, LSC en français) sont représentées par deux lignes horizontales de part et d'autre de la moyenne.

Ce sont les limites à l'intérieur desquelles le processus est sous contrôle. Les valeurs d'une caractéristique mesurée doivent se trouver à l'intérieur de ces limites, sinon le processus est hors contrôle et doit être examiné.

Pour les cinq paramètres étudiés le graphique de la moyenne est généralement moins dispersé que celui de l'étendue.

Les cartes de contrôle des différents paramètres, aussi bien celle des moyennes que celle des écarts types, montrent que même si elles n'indiquent pas la survenance d'un franc dérèglement du fonctionnement du processus de production, elles révèlent une assez grande variabilité qui affecte la normalité des résultats obtenus.

Concernant le taux d'enrobage, cette étude a permis de montrer une faible maîtrise de l'opération d'enrobage et, même si le processus apparaît bien réglé avec une faible dispersion des valeurs autour de la moyenne (figure II-3), des dépassements des tolérances provoquent un coefficient de variation important $CV = 22,9604$ (tableau II-2).

Ce simple outil visuel a permis de révéler un dysfonctionnement dans le processus de fabrication des engrais NPK (3×15).

II.3. INDICE DE CAPABILITE

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 $CP \geq 1,33$.

Dans notre étude nous pouvons calculer l'indice de capacité d'un seul paramètre qui est le taux d'enrobage.

Tableau II-3 : Les indices de capacité pour le paramètre « le taux d'enrobage »

CP	CIP
0,011	0,6211

Les résultats d'analyse du taux d'enrobage des 25 échantillons des engrais NPK (3x15) montre une très faible valeur d'indice de capabilité du procédé $CP < 0,67$ (tableau II.4).

Ces résultats obtenus confirment la faible maîtrise de l'étape d'enrobage dans le processus de fabrication.

Il faut donc, avant de réviser le fonctionnement du processus, de vérifier que les spécifications sont bien appropriées et que la méthode et les moyens de mesure sont bien adaptés au produit en question.

Tableau II-4 : interprétations des indices de capabilité.

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

CONCLUSION

La Maîtrise Statistique des Procédés a pour objet une qualité accrue par l'utilisation d'outils statistiques visant à une production centrée et la moins dispersée possible. Nous avons, en ce dernier chapitre de notre projet de fin d'étude, établis le diagnostic et les cartes de contrôle de cinq paramètres par le logiciel STATISTICA, qui est un moyen de traitement statistique des données. En interprétant les résultats de calcul de statistique élémentaires et des cartes de contrôle, nous concluons que le processus de fabrication des engrais NPK (3x15) ne fonctionne pas correctement, et qu'il est indispensable de lui apporter les corrections nécessaires afin d'obtenir un produit fini de la qualité requise.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Dans toute entreprise de production l'amélioration de la qualité est un objectif permanent. Pour chaque produit fabriqué, une ou plusieurs caractéristiques sont étroitement surveillées afin de respecter la demande du consommateur.

Le contrôle en cours de production a pour but d'obtenir une production stable avec un minimum de produits non conformes aux spécifications.

La Maitrise Statistique des Procédés est un outil de qualité qui a pour objet une qualité accrue par l'utilisation d'outils statistiques visant à une production centrée et la moins dispersée possible.

L'objectif de ce travail était d'une part d'étudier le procédé de fabrication des engrais NPK (3×15) et d'autre part de réaliser un contrôle de qualité de ce processus de production en appliquant les méthodes de la maitrise statistique des procédés.

L'exploitation statistique des données de fabrication a été réalisée par le logiciel mathématique STATISTICA version 5.1.

Notre étude a été réalisé sur la base des résultats d'analyse de cinq paramètres physico-chimiques à savoir, la dureté ; le taux d'enrobage ; le pH ; le taux de K_2O et le taux d'humidité.

Les cartes de contrôle des différents paramètres, aussi bien celle des moyennes que celle des écarts types, montrent que même si elles n'indiquent pas la survenance d'un franc dérèglement du fonctionnement du processus de production, elles révèlent une assez grande variabilité qui affecte la normalité des résultats obtenus.

Cette étude a permet de montrer un faible maitrise de l'opération d'enrobage et, même si le processus apparaitre bien réglé avec une faible dispersion des valeurs autour de la moyenne, des dépassements des tolérances provoquent un coefficient de variation important $CV= 22,9604$. Ce qui a été confirmé par une valeur très faible d'indice de capabilité du procédé $CP<0,67$.

D'après les résultats obtenus par les calculs de statistique élémentaire et les cartes de contrôle (des moyennes et des écarts-types) de chacun des paramètres analysé. Nous avons pu constater que le processus de fabrication n'est pas convenablement maitrisé, et que les exigences des spécifications relatives aux propriétés et caractéristiques du produit fini ne sont pas totalement respectées.

Au terme des perspectives, notre étude est très intéressante car elle fait ressortir, interpréter et proposer l'origine des problèmes rencontrés en fabrication et en contrôle

qualité. Il serait intéressant de reprendre cette méthode de traitement statistique pour une plus longue période.

Cette méthode est valable aussi bien pour le contrôle de qualité des engrais chimiques que pour quelque autre production industrielle qui représente un phénomène de répétabilité.

REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Albert DAUJAT, Philippe ÉVEILLARD, Jean HEBERT, Jean-Claude IGNAZI, « ENGRAIS », *Encyclopédie Universalisa*, consulté le 10 septembre 2020. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/engrais> .

[2] Jean-Claude IGNAZI, Albert DAUJAT, Jean HEBERT, Philippe EVEILLARD,« ENGRAIS », Encyclopédie Universalise [en ligne], consulté le 24 février 2020.

[3] Au Jardin, Les engrais et l'environnement, <https://www.aujardin.info/fiches/engrais-environnement>, consulté le 24 février 2020.

[4] Redouane FALOUS, Bilan massique et thermique d'une unité de production d'engrais, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, 2013.

[5] Pedro Santos, Les alternatives aux engrais de synthèse, Rédigé par le réseau Agriculture Régional de la FRAPNA, 2013.

[6] P.F CHABALIER , IRAT,. Doses croissantes de calcium sur géranium en vases. Fiche d'essai IRAT n °62/72 , 1972.

[7] Avoir la science en gré, Les effets néfastes des engrais sur l'environnement, <http://avoir-la-science-en-gre.e-monsite.com>, consulté le 24 février 2020.

[8] Manuel de Formation Statistiques sur les Engrais en Afrique, AfricaFertilizer.org est une initiative conjointe de IFDC, la FAO, IFA et l'Union Africaine pour faciliter les échanges d'information sur la fertilité des sols, les engrais et les bonnes pratiques agricoles en Afrique, Draft, 2012

[9] Avoir la science en gré, Les effets néfastes des engrais sur l'environnement, <http://avoir-la-science-en-gre.e-monsite.com>, consulté le 24 février 2019.

[10] Les engrais et leurs applications, Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Association Internationale de l'industrie des Engrais, Institut mondiale du Phosphate, Rabat, 2003.

[11] Hamza BOUKERMA, Synthèse et caractérisation structurale de phosphates métalliques à charpente organique, Département de Chimie, Université Mentouri de Constantine, 2011.

[12] Camille DUMAT, Fertilisation raisonnée et Biogéochimie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse.

[13] Production-ressources, Engrais minéraux composés, [http:// fertilisation-edu.fr](http://fertilisation-edu.fr), consulté le 06 Septembre 2020.

[14] Fernando PEREIRA, Production d'acide phosphorique par attaque chlorhydrique de minerais phosphatés avec réduction des nuisances environnementales et récupération des terres rares en tant que sous-produits, Ecole nationale supérieure des Mines de Saint-Etienne Et Université Jean Monnet de Saint-Etienne, 2003.

[15]DEKDOUK Hadjer, Etude de la prise en masse des engrais NPK 3×15 de l'unité FERTIAL Annaba : détermination et analyse statistique des paramètres en cause dans ce processus, UNIVRSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2019.

[16] Les engrais NPK, Définition et utilisation, <http://wikiagi.fr/article/>, consulté le 05 septembre 2020.

[17] Les engrais NPK, Définition et utilisation et limites, [https://jardinage.lemonde.fr /dossier-1012-engrais-NPK](https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1012-engrais-NPK), consulté le 06 septembre 2020.

[18] Stratégie en matière d'engrais, Organisation Des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Association Internationale de l'Industrie des Engrais, Rome, 2000.

[19] Salah DEEP, Contribution méthodologique à la maîtrise conjointe de la qualité d'un produit et de ses processus de production par une modélisation des concepts qualité, Université Henri Poincaré, Nancy I, U.F.R. Ecole Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur, 2008.

[20] Series statistiques en ligne sur <http://jellevy.yellis.net>.

[21] GOUPY Jacques «Introduction aux Plans d'expériences». Dunod. Paris, 2001.

[22] Alain April, Claude Laporte : Assurance Qualité Logicielle 1 -concepts de base, Hermes-Lavoisier; 2011.

[23] Emmanuel DUCLOS. Contribution à la Maîtrise Statistique des Procédés Cas des procédés non normaux. L'ECOLE SUPERIEURE D'INGENIEURS D'ANNECY (ESIA) UNIVERSITE DE SAVOIE page 1-31, 1997.