



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Bilan massique et énergétique d'une unité de production d'engrais

Présenté par :

◆ Ali EL JANATI

Encadré par :

◆ Mr. Abderrahim BENZAOUIA (OCP)

◆ Pr. Abdelaziz ZEROUALE (FST)

Soutenu Le mercredi 13 Juin 2012 devant le jury composé de:

- Pr. Abdelaziz ZEROUALE
- Pr. Nouredine IDRISSE KANDRI
- Pr. Ahmed HARRACH

Stage effectué à OCP

Année Universitaire 2011 / 2012

Sommaire

I.	Introduction	4
II.	Présentation de la société	5
	Tableau 1 : Fiche technique de l'O.C.P.....	6
1)	Le complexe chimique de JORF LASFAR	6
III.	Procédé de fabrication des engrais	8
1)	Généralités sur les engrais	8
a)	Définition des engrais	8
b)	Rôle des principaux éléments constituant les engrais	8
c)	Terminologie des engrais	9
2)	Procédé de fabrication des engrais	9
a)	Principe de fabrication	9
b)	Procède de fabrication (JACOBS)	10
IV.	Description de la Section de séchage	15
1)	Procédé de séchage	15
a)	Procédé à courant croisé	15
b)	Procédé à contre courant	15
c)	Procédé à Co-courant	15
2)	Séchoirs rotatifs à cascade	16
a)	Description	16
b)	Mode de transfert de chaleur.....	16
c)	Ecoulement du produit dans le sécheur	16
d)	Type de pelles	16
3)	Section de séchage.....	16
V.	Bilan de matière et thermique	17
1)	Bilan de matière de l'unité de production engrais	17
2)	Bilan dans la chambre de combustion	19
a)	Fuel lourd n°2	19
b)	Air de combustion.....	19
c)	Air de dilution primaire	21
d)	Air de dilution secondaire.....	21
3)	Bilans dans le sécheur.....	22
a)	Chaleur à l'entrée du sécheur.....	22

b)	Chaleur totale à la sortie du sécheur	23
4)	Détermination de la quantité de fuel consommé	23
5)	Interprétation	24
VI.	Conclusion :	24

Remerciements

Au terme de ce travail,

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur le Directeur Général du Groupe « Office Chérifien des Phosphates » - Jorf Lasfar à ElJadida, qui a eu l'extrême obligeance de nous accueillir au sein de son groupe.

Ma Profonde gratitude va également à mon parrain de stage, Monsieur Abderrahim BENZAOUIA (Chef de service), Monsieur Said ADOUANE pour son chaleureux accueil, Monsieur Mohammed ElOrche,

ainsi que Monsieur Ibrahim GOUFRI et Monsieur OUJJARI pour leur encadrement durant notre stage.

Un grand Merci à notre chef de filière Said CHAKROUNE, notre encadrant Mr. Abdelaziz ZEROUALE pour leurs très bon suivi, en exprimant notre profonde gratitude pour tous leurs efforts, ainsi que le temps qu'ils nous ont consacré.

Merci à tous le personnel OCP, agents, operateurs et contremaîtres du service IDJ/PE/P de la ligne D, et l'unité 08 plus précisément.

Et finalement,

Merci à mes chers parents, pour leur immense soutien, autant moral que physique.

Merci à mes frères et sœurs pour leurs conseils et leur attention, sans oublier mes amis pour leur présence constante.

Un grand merci.

I. Introduction

Le stage effectué au sein de l'Office Chérifien des Phosphates « OCP » m'a permis :

- ✓ d'approfondir mes connaissances acquises au cours de ma formation.
- ✓ De suivre le procédé de fabrication des engrais au MAROC PHOSPHORE
- ✓ Etudier les performances des machines de production des engrais

Pour illustrer ce travail, on a essayé de faire une description de la section séchage et d'établir :

- Bilan de matière de l'unité de production des engrais
- Bilan massique de la section de séchage
- Bilan thermique de la section de séchage

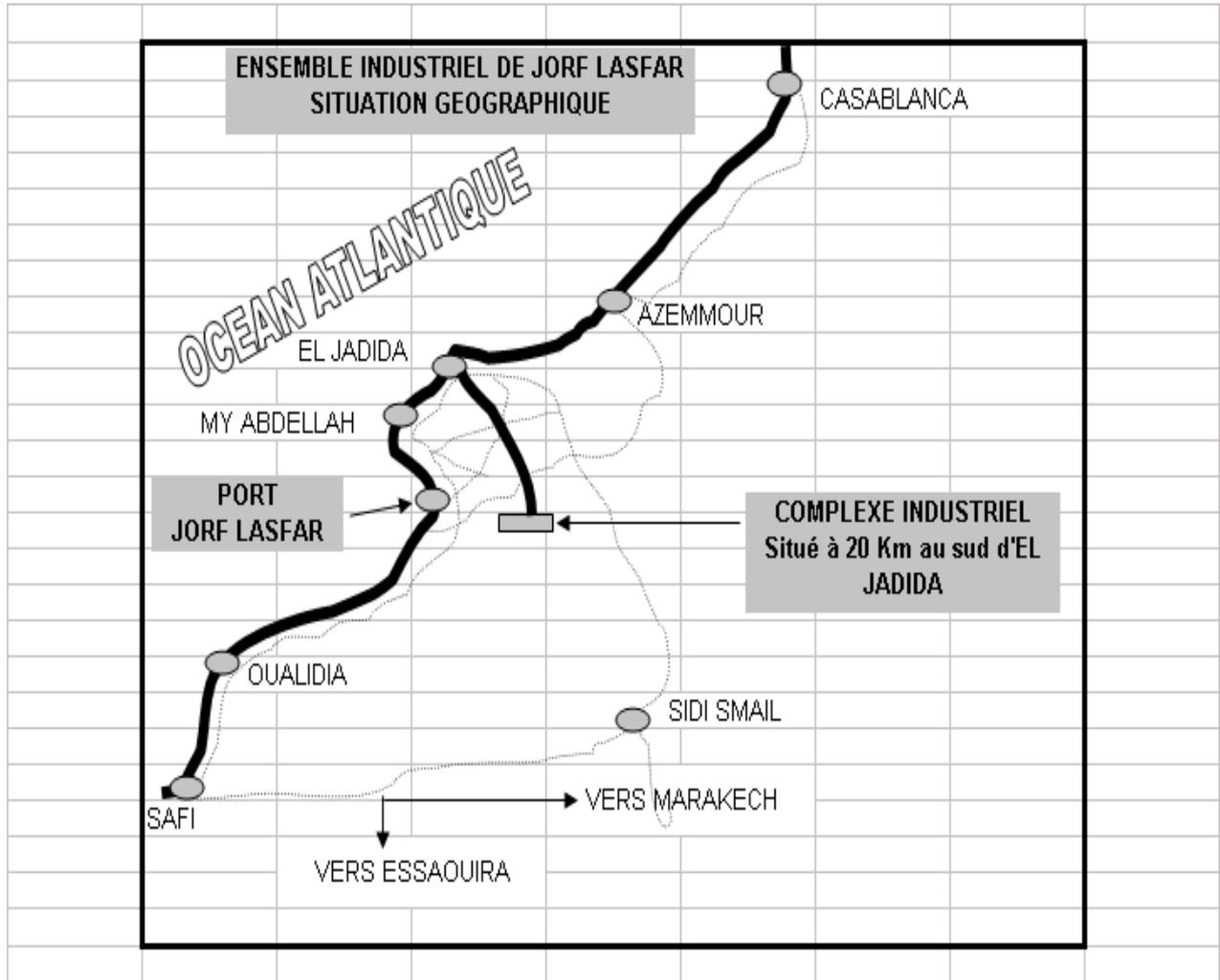
II. Présentation de la société

La production du phosphate brut se fait dans quatre centres miniers: Khouribga, Youssoufia, Benguerir et Boucraâ. Environ la moitié du phosphate produit est exportée comme matière première à destination d'une quarantaine de pays à travers le monde, tandis que l'autre moitié est livrée aux usines locales de transformation. Celles-ci sont dénommées Maroc Chimie I et II (SAFI), Maroc Phosphore I & II (SAFI), Maroc Phosphore III – IV, IMACID, Pakistan Maroc Phosphore et d'autres entreprises installées à JORF LASFAR.

Raison sociale	Office chérifien des phosphates O.C.P.
Numéro du registre de commerce	<i>Casablanca 40327</i>
Date de création	<i>Dahir du 07/08/1920</i>
Mise en place de la structure du groupe	<i>Juillet 1975</i>
Siège sociale	Angle route d'El Jadida et BD de la Grande Ceinture, B.P 5196 Casa maarif, Casablanca
Président directeur du groupe	M. Mostafa Terrab
Secteur d'activités	Extraction, valorisation et commercialisation des phosphates et produits dérivés

Tableau 1 : Fiche technique de l'O.C.P

1) Le complexe chimique de JORF LASFAR



Le complexe MAROC PHOSPHORE comprend plusieurs ateliers :

Atelier sulfurique

6 unités de production d'acide sulfurique monohydrate d'une capacité de 2650 t/j chacune utilisant le procédé à double absorption Monsanto (USA).

Atelier phosphorique

✓ huit unités de broyage de phosphate d'une capacité unitaire de 100t/h pour les trois unités fonctionnant selon le procédé Rhône-Poulenc (France) et d'une capacité de 150 t/h pour les cinq autres unités fonctionnant selon le procédé OCP

✓ huit unités de production d'acide phosphorique dont trois fonctionnent selon le procédé Rhône-Poulenc (France) d'une capacité unitaire de 500 t (P₂O₅)/j et cinq selon le procédé JORF LASFAR (OCP) d'une capacité unitaire de 700 t (P₂O₅)/j

✓ Décanteurs, désursaturateurs et bacs de stockage.

Atelier d'engrais

4 unités de production de DAP dont deux peuvent produire du TSP, MAP et NPK.

✓ Capacité en DAP : 1400 t/j/unité.

✓ Capacité en TSP : 1100 t/j/unité.

✓ Capacité en MAP : 1200 t/j/unité.

Atelier d'utilités

✓ Une centrale thermoélectrique avec trois groupes turboalternateurs de 37 MW chacun

✓ Un réservoir d'eau douce et une station de traitement de 2000 (m³/h)

✓ Une station de reprise d'eau de mer de 60000 (m³/h)

✓ Une station de compression d'air.

Installations portuaires

✓ Hangar de stockage du soufre solide

✓ Unité de fusion filtration du soufre

✓ Bacs de stockage du soufre liquide

✓ Bacs de stockage d'acide sulfurique et de la soude caustique

✓ Bacs atmosphériques de stockage d'ammoniac

✓ Station de filtration et de pompage d'eau de mer

✓ Station d'ensachage des engrais destinés à l'exploitation.

✓ Installations de chargement et de déchargement.

Stockage Principal

✓ hangars de stockage pour solides (phosphates, engrais et soufre)

Bacs de stockage pour liquides (acide sulfurique, soude caustique, ammoniac, acide phosphorique et soufre liquide)

III. Procédé de fabrication des engrais

1) Généralités sur les engrais

a) Définition 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.

b) Rôle des principaux éléments constituant les engrais

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

- * Éléments fertilisants secondaires : Le calcium, le magnésium, le soufre et le sodium.
- * Oligo-éléments : Bore, chlore, cuivre, magnésium, molybdène et le zinc.
- * Les oligo-éléments : Ils participent à faible dose à la nutrition des végétaux (quelques centaines de grammes à quelques kilogrammes par hectare). Au delà d'une certaine concentration, ils deviennent toxiques pour les plantes.
- * 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, potasse et phosphore) 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.

c) Terminologie des engrais

❖ 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 - %l :m K_2O .

Les formules d'engrais fabriqués à partir du phosphate naturel sont :

• Engrais simples:

☐ Le simple superphosphate SSP (18 % en P_2O_5).

☐ Le triple superphosphate TSP (45 % en P_2O_5)

• Engrais composés (binaires) :

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

☐ Le phosphate diammonique : DAP (18%azote, 46%phosphore et 0%potassium)

☐ Le sulfophosphate d'ammonium : ASP (19%azote, 38%phosphore et 0%potassium)

• 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 .

2) Procédé de fabrication des engrais

a) Principe de fabrication

La fabrication des engrais azotés consiste à neutraliser l'acide phosphorique (réaction exothermique). Toutefois l'instabilité du phosphate tri_ammonique $(NH_4)_3PO_4$ dans les conditions de fabrication limite la neutralisation par contrôle analytique du rapport molaire.

$$RM = \frac{\text{Nombre de moles de } NH_3}{\text{Nombre de moles de } H_3PO_4}$$

Le procédé consiste à effectuer la neutralisation en deux étapes :

- Une pré neutralisation de l'acide phosphorique H_3PO_4 par l'ammoniac NH_3 jusqu'à un RM = 1,4 pour le DAP et RM = 0,6 pour le MAP ce qui correspond à une fluidité maximale de la bouillie et des pertes moindres en ammoniac par tension de vapeur. Cette première étape s'effectue dans un réacteur préneutraliseur PN agité, de volume 80m³.

- Une ammoniation complémentaire jusqu'à obtention d'un RM = 1,8 pour DAP et RM = 1 pour le MAP, favorisent la cristallisation. Ce deuxième stade est réalisé dans un tambour de granulation (granulateur).

La chaleur dégagée aux deux stades de la réaction provoque l'évaporation d'une grande quantité d'eau introduite pour diluer l'acide phosphorique. Ainsi toute la masse gazeuse (dégagée du préneutraliseur et du granulateur) est récupérée pour faire un lavage au niveau de la section de lavage afin d'améliorer le rendement en récupérant l'ammoniac non réagi au cours des deux étapes de neutralisation.

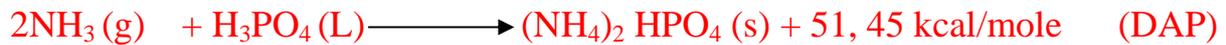
b) Procède de fabrication (JACOBS)

La fabrication du DAP et du MAP selon le procédé « JACOBS » se fait en six étapes principales :

- ❖ La neutralisation (Reactions d'ammoniation).
- ❖ La granulation.
- ❖ Le séchage.
- ❖ La classification granulométrique.
- ❖ Le conditionnement du produit (refroidissement + enrobage).
- ❖ Assainissement et lavage des gaz.

i. Neutralisation

Les phosphates d'ammonium sont à l'échelle mondiale, les engrais phosphatés les plus utilisés grâce à leurs teneurs élevées en éléments essentiels et à leurs propriétés physiques. Le principe de fabrication consiste à produire du phosphate d'ammonium par neutralisation de l'acide phosphorique par l'ammoniac suivant les réactions :



Le rapport molaire, pour cette première ammoniation, doit être à peu près 1,4 pour le DAP et 0.6 pour le MAP.

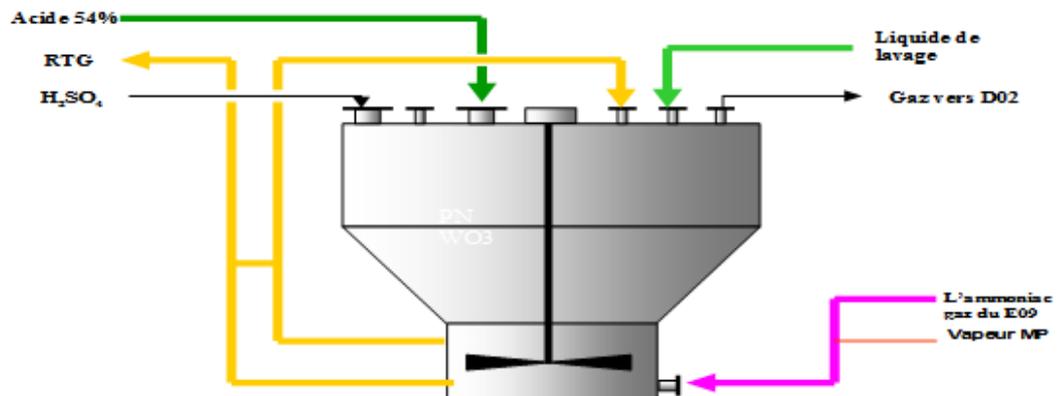


Figure 1 : schéma descriptif d'un préneutraliseur

ii. Granulation

L'opération de granulation consiste à transformer la bouillie venant du préneutraliseur en un produit granulé de dimensions bien déterminées. A l'aide d'un réacteur tubulaire de granulateur, la bouillie est pulvérisée à travers des buses de pulvérisation sur un lit de matière sèche recyclée. Le mouvement de rotation du granulateur permet une distribution uniforme et produit une couche de granulés durs et arrondis. C'est à ce stade qu'a lieu la seconde neutralisation de l'acide phosphorique contenu dans la bouillie. À fin de ramener son rapport molaire de 1,4 à 1,8 pour le DAP et de 0,6 à 1 pour le MAP favorisent la cristallisation de la bouillie. Le produit granulé humide sort du granulateur à travers une grille située à la sortie de la virole et s'achemine directement vers le sécheur par l'intermédiaire d'une goulotte.

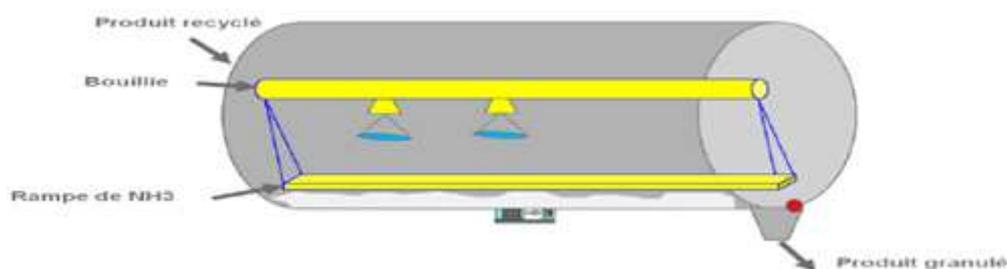


Figure 2 : schéma descriptif du granulateur

iii. Séchage

L'opération de séchage consiste à débarrasser le produit d'une partie de son eau, grâce à une masse d'air chaude que l'on fait passer au dessus du produit granulé. Cette étape permet d'éviter les phénomènes de colmatage des appareils de broyage, criblage et conditionnement ainsi que la prise en masse au cours du stockage de l'engrais. A la sortie du tube sécheur, les gaz chargés d'eau et de poussières sont traités au niveau d'une batterie de cyclones. Pour récupérer le maximum de poussières en les recyclant vers le granulateur. Les gaz chauds assurant le séchage de l'engrais proviennent du four sécheur constitué principalement d'une chambre à combustion à fuel.

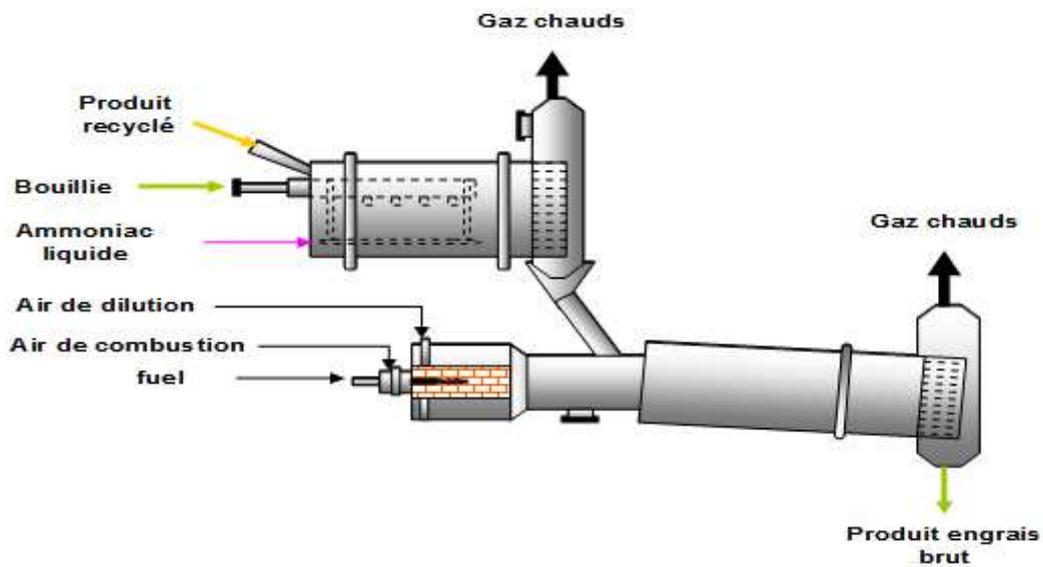


Figure 3 : schéma descriptif du sécheur

iv. Classification granulométrique

La séparation granulométrique de l'engrais permet de fabriquer un produit marchand à la granulométrie requise entre 2 et 4 mm et d'extraire le produit de recyclage qui alimente le granulateur. Après l'alimentation du convoyeur T05, ce dernier alimente à son tour et à travers des boîtes de volets de répartition (H03, H20, H21) les distributeurs vibrants T21, T22, T23 et T24 qui répartissent le produit sur toute la largeur des cribles à doubles étages S01, S02, S03 et S04. Les grains fins de criblage sont acheminés directement vers la bande de recyclage T02, les gros grains refusés par la toile supérieure des cribles sont acheminés vers des broyeurs B01, B02, B03 et B04 pour rejoindre aussi la bande de recyclage T02.

Le produit marchand est acheminé vers la bande T08 qui alimente à la fois l'élévateur T09 et la bande T02 à l'aide du volet H01. Après le passage par T09 le produit marchand se trouve aux tamis finisseurs à double étage S06 et S11 pour améliorer la qualité de la granulométrie.

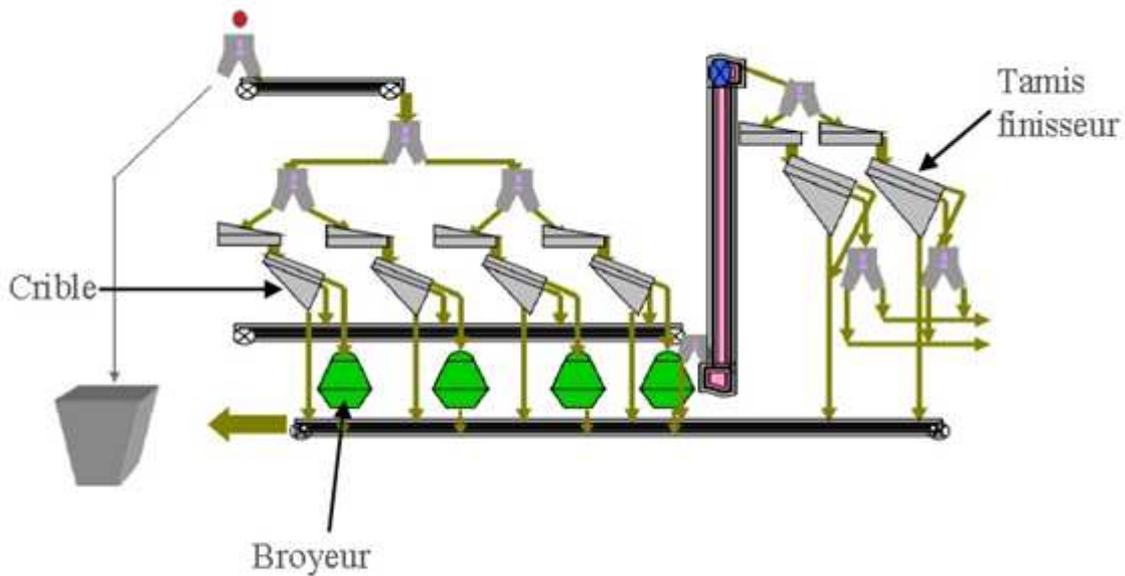


Figure 4 : schéma descriptif des cribles et broyeurs

v. Conditionnement du produit

• Refroidissement

Le produit venant des tamis finisseurs alimente, par gravité, un refroidisseur à lit fluidisé E02 dont le rôle est d'abaisser la température du produit fini à une valeur comprise entre 40 et 46 °C par mise en contact avec l'air ambiant aspiré par deux ventilateurs C03 et C04 à travers deux échangeurs E01 et E08.

Ces échangeurs comportent deux batteries : Une froide où l'air est refroidi à 21°C en rentrant en échange thermique avec NH₃ et l'autre chaude où l'air est réchauffé à une température de 27°C via un échange avec la vapeur circulant dans des serpentins à l'intérieur des échangeurs. Son humidité étant éliminée l'air est refoulé au refroidisseur.

• Enrobage

Le produit sortant du refroidisseur alimente un élévateur à godets T11 lequel alimente l'enrobeur. Le produit marchand est enrobé par pulvérisation du fuel ou de l'huile aminée afin d'éviter la prise en masse, la formation de poussières et l'absorption de l'humidité lors du stockage. Le produit sortant de l'enrobeur est évacué vers une bande de produit fini T14 qui alimente trois installations du stockage à l'aide d'une série de convoyeurs à bande.

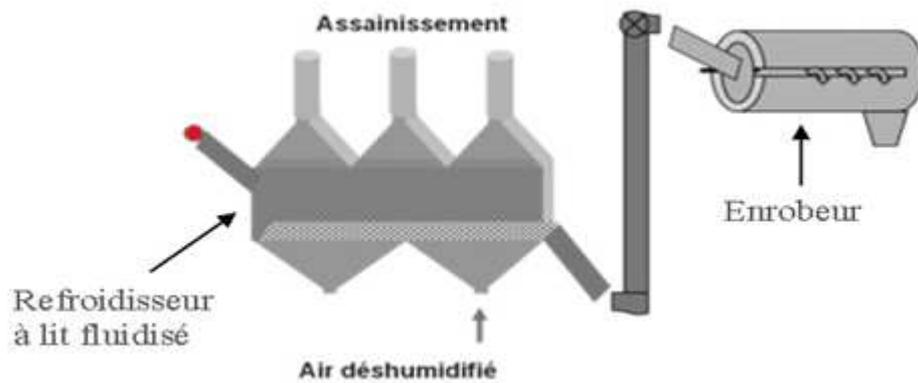


Figure 5: schéma descriptif du refroidisseur et d'enrobeur

vi. L'assainissement : la collecte et le lavage des gaz

L'air contenant des poussières résultantes de la manutention des cribles, des broyeurs, des bandes et des élévateurs est aspiré par les deux ventilateurs C07 et C08 pour l'acheminer respectivement vers les cyclones S10 et S09 où la majeure partie de ces poussières est récupérées.

Après le cyclonage, l'air circule vers le venturi D06 et le laveur D08 où les traces de poussière sont éliminées par l'eau brute. L'air issu du premier compartiment du refroidisseur est aspiré vers le cyclone S08 via le ventilateur C05. Une grande partie de poussières est récupérée et recyclée vers la bande T02. L'air sortant des cyclones circule vers la tour D10 où il subit un lavage final par l'eau brute. L'air des deux autres compartiments du refroidisseur est soutiré par le ventilateur C06 qui le refoule vers D04 et le laveur des cyclones D05 où les poussières sont récupérées par l'eau circulant dans les laveurs.

IV. Description de la Section de séchage

1) Procédé de séchage

La diversité dans la nature du produit, taille et forme des produits à sécher, la spécificité de traitement à respecter, (contrainte physicochimiques ou biologique) est à l'origine de l'existence d'une très grande variété de séchoirs.

Les techniques de séchage sont souvent classées suivant le mode de transmission de la chaleur. On distingue alors :

- ◆ Le séchage par convection ou séchage direct : c'est la technique la plus adaptée, les calories nécessaires à l'évaporation de l'eau ou du solvant sont apportées par un gaz qui circule au contact du substrat à sécher. Ce gaz joue en même temps le rôle de vecteur qui transporte la vapeur produite hors de l'enceinte de séchage. Ce mode de séchage se rencontre souvent dans les lits fluidisés, transport pneumatique, les atomiseurs...
- ◆ Le séchage par conduction ou séchage indirecte : la substance à sécher se trouve en contact avec des surfaces chaudes (tube de transfert, enveloppe). L'humidité est éliminée par aspiration de la vapeur.
- ◆ Le séchage par rayonnement : cette technique est surtout utilisée pour le traitement de liquides ou de la pâte. Le séchage des peintures par infrarouge constitue l'exemple le plus typique de cette technique.

a) Procédé à courant croisé

L'air de séchage se déplace perpendiculairement à la direction du mouvement du produit. Ce mouvement est assuré soit par système mécanique (godet, wagon, bande perforée, sole perforée vibrante), soit par fluidisation du produit au moyen de l'air de séchage. Ce procédé est utilisé dans le cas où les produits ont une faible résistance mécanique.

b) Procédé à contre courant

Le produit humide entrant vient en contact d'un gaz refroidi et chargé d'humidité. Le gaz chaud vient au contact de produit séché. Il se peut que le point de rosée soit atteint sur la surface du produit. Ce procédé s'applique dans le cas où le produit humide ne supporte pas la chaleur.

c) Procédé à Co-courant

Les gaz chauds rencontrent le produit humide à son entrée dans le sécheur. La différence de température permet une évaporation rapide à l'entrée du sécheur. La température des gaz diminue. Ce type de séchage est recommandé pour les produits résistant au contact des gaz et sensible à la température.

Ces raisons font que le procédé à co-courant est toujours utilisé dans l'industrie des engrais.

2) Séchoirs rotatifs à cascade

a) Description

Le séchoir rotatif est un cylindre en tôle généralement de grande longueur, tournant lentement autour d'un axe légèrement incliné sur l'horizontal. Le produit humide est introduit par la partie supérieure et avance par gravité, les grains s'enroulent sur eux même.

Dans la plus part des séchoirs, ces cylindre sont équipés des pelles fixées à l'intérieur du cylindre, fessant remonter le produit dans le courant d'air de séchage, augmentant ainsi considérablement la surface de contact.

b) Mode de transfert de chaleur

Le transfert de chaleur se fait par conduction pendant la période où le solide est transporté par les éléments internes et par convection lors de sa chute vers le bas du cylindre. Le séchage du solide se produit surtout pendant sa chute dans le courant gazeux. Le transfert de matière peut donc être gouverné par des phénomènes convectifs.

c) Ecoulement du produit dans le sécheur

Le mouvement des particules contribue de façon importante au transfert de matière. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs, à savoir le mode d'avancement et les propriétés du solide à sécher.

Un séchoir rotatif se comporte comme un convoyeur pour le produit solide et comme un dispositif qui améliore l'efficacité du transfert de matière et thermique entre le produit humide et les gaz de séchage. Ce transport s'effectue de la manière suivante :

- Transport du produit du bas du sécheur vers le haut.
- Chute du produit.
- Glissement du produit au bas du sécheur.

d) Type de pelles

La plus part des sécheurs rotatifs modernes sont équipés de pelles pour augmenter l'efficacité du transfert de chaleur et de matière entre le solide et l'air de séchage. Dans l'industrie, il y a plusieurs types de pelle : pelle droite, pelle à distribution angulaire uniforme (EAD), pelle droite angulaire, pelle à distribution centrée (CBD) et pelle semi-circulaire.

3) Section de séchage

Le sécheur a besoin d'une source de chaleur qui n'est d'autre que la chambre de combustion. Cette dernière est équipée d'un brûleur alimenté en fuel lourd comme combustible et de l'oxygène de l'air.

Le contrôle de cette section se fait par l'opérateur de la salle de contrôle en agissant sur le débit de consommation de fuel avec contrôle des débits de différents types d'air.

Afin de déterminer la différence d'humidité entre le produit entrant dans le sécheur et le même produit sortant c'est-à-dire la quantité d'eau évaporée, on établit un bilan massique et un bilan thermique au niveau de la chambre de combustion dans le but de déterminer le débit et l'enthalpie de la masse gazeuse.

V. Bilan de matière et thermique

1) Bilan de matière de l'unité de production engrais

Les matières premières utilisées pour la fabrication des engrais :

Acide phosphorique 54% et 29%

L'ammoniac gaz et liquide.

❖ Données :

- Capacité de production est 120 t / h
- Densité d'acide 54% est 1,65
- Titre d'acide 54% est 0,54
- Densité d'acide 29% est 1,3
- Titre d'acide 29% est 0,29
- Densité d'acide du mélange 42% est 1,48
- Titre d'acide du mélange 42% est 0,42
- Densité d'ammoniac est 0,6732
- Rendement d'azote est $R_N = 96\%$
- Rendement de P_2O_5 est $R_P = 98\%$
- DAP : 18%azote, 47%phosphore et 00%potassium
- Q_A débit d'acide 54%
- Q_B débit d'acide 29%
- Q_C débit du mélange

➤ Bilan d'ammoniac

Pour fabriquer une tonne de DAP il faut avoir :

- $0,18 * 1 = 0,18$ T d'azote
- $0,47 * 1 = 0,47$ T de P_2O_5

On a la réaction suivante :



D'après la réaction:

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

$$m(NH_3) = 2 * \frac{m(N_2)}{M(N_2)} * M(NH_3) * \frac{1}{R_N}$$

$$\begin{aligned} \text{A.N : } m(NH_3) &= 2 * \frac{0,18}{28} * 17 * \frac{100}{96} \\ &= 0,227 \text{ t} \end{aligned}$$

Donc :

$$m(NH_3) = 0,227 \text{ t}$$

➤ Bilan de P_2O_5

$$\text{On a } R_P = \frac{0,47 * 1}{0,42 * Q_C}$$

$$Q_C = 1,14 \text{ t soit } 0,771 \text{ m}^3$$

Donc

$$Q_C = 0,771 \text{ m}^3$$

➤ Bilan des acides

On a

$$\begin{cases} Q_A + Q_B = Q_C \\ 0,54 Q_A + 0,29 Q_B = 0,42 Q_C \\ Q_B = Q_C - Q_A \\ Q_A = Q_C * \frac{0,42 - 0,29}{0,54 - 0,29} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{A.N } Q_A &= 1,14 * \frac{0,13}{0,25} \\ &= 0,593 \text{ t soit } 0,359 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Donc :

$$Q_A = 0,359 \text{ m}^3$$

D'où :

$$Q_B = 0,412 \text{ m}^3$$

Donc pour produire 120 t/h de DAP on a besoin de :

$$Q_A = 43,08 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$Q_B = 49,44 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$Q_{\text{NH}_3} = 27.24 \text{ t/h}$$

2) Bilan dans la chambre de combustion

Les différents produits misent en jeu sont:

- ❖ Débit du fuel lourd n°2 : F
- ❖ Débit d'air de combustion : Qac
- ❖ Débit d'air de dilution primaire : Qadp
- ❖ Débit d'air de dilution secondaire : Qads
- ❖ Débit d'air à la sortie chambre de combustion: G

a) Fuel lourd n°2

Le fuel utilisé est le fuel lourd n°2 dont la composition chimique est la suivante :

ELEMENT	C	H	S	H2O
%	85.8	10.2	3	1

Ses caractéristiques chimiques sont :

-Densité : 0.94 à 30°C. et 0.88 à 100°C

-Chaleur spécifique Cp : 0.523 Kcal/Kg °C

9500 Kcal/K

-Point d'écoulement : 36°C

Sa chaleur sensible à 25°C est calculée par :

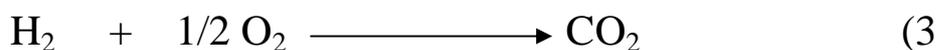
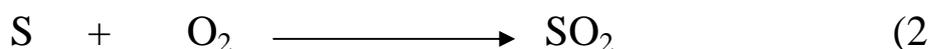
$$H_f = 0.523 (120 - 25) = 50 \text{ Kcal/Kg.}$$

-PCI :

-température d'inflammation : 140°C

b) Air de combustion

L'air de combustion n'est que l'air ambiant aspiré par les ventilateurs C09 ou bien C14. Son débit est déterminé en tenant compte des réactions de combustion de différents composés du fuel selon les réactions suivantes :



La combustion totale d'un Kg de fuel nécessite une quantité d'O₂ déterminée à partir des réactions précédentes:

$$n(\text{O}_2) = n(\text{O}_2)1 + n(\text{O}_2)2 + n(\text{O}_2)3$$

$$n(\text{O}_2) = n(\text{C}) + n(\text{S}) + n(\text{H}_2)/2$$

$$m(\text{O}_2) = M(\text{O}_2) * [m(\text{C})/M(\text{C}) + m(\text{S})/M(\text{S}) + m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2)]$$

$$m(\text{O}_2) = 32.(85.8/12 + 3/32 + 10,2/4)$$

$$\boxed{m(\text{O}_2) = 313.4 \text{ kg pour } 100 \text{ Kg de Fuel}}$$

Donc la combustion totale d'un Kg de fuel nécessite une quantité stœchiométrique d'oxygène de 3.134 kg d'O₂/Kg de fuel. Sachant que l'air atmosphérique est composé de 21% de O₂ et 79 % de N, la masse d'air correspondante est alors de :

$$\begin{aligned} m(\text{air}) &= 3.134/0.21 \\ &= 15 \text{ Kg d'air sec / Kg de fuel} \end{aligned}$$

Pour avoir une combustion complète et pour des raisons de sécurité en ajoute un excès de 30%.

$$\begin{aligned} m(\text{air}) &= 15 + 15*30/100 \\ &= 19.5 \text{ Kg d'air sec/Kg de fuel.} \end{aligned}$$

En tenant compte de l'humidité de l'air de combustion qu'est de 0.0125Kg d'eau par Kg d'air sec.

$$m(\text{air}) = 19.5 + 0.0125*19.5$$

$$\boxed{Q_{ac} = 19.74 *F \text{ Kg d'air/h}}$$

Données concernant l'air de combustion :

Température 35°C

Humidité 0.0125 Kg H₂O/Kg d'air sec

C_p 0.24 Kcal/Kg°C

L'enthalpie d'air de combustion est calculée par

$$\text{Donc } H_{ac} = Q_{ac} * C_p * dT$$

$$H_{ac} = 19.74 * F * 0.24 * (35 - 25)$$

$$= 47.38 * F \text{ Kcal}$$

c) Air de dilution primaire

L'air de dilution primaire est introduit à l'entrée de la chambre de combustion. Il permet de refroidir les briques constituant les parois de la chambre de combustion, et maintient une température au foyer de la chambre de combustion inférieure à 950°C cet air est aspiré par le ventilateur C10, dont les caractéristiques sont :

Le débit d'air de dilution primaire est : $Q_{adp} = 41680 \text{ Kg/h}$

Température : 35 °C

Humidité : 0.0125 Kg H₂O/ Kg d'air sec

Cp: 0.24 Kcal/ Kg°C

L'enthalpie d'air de dilution primaire est calculée par :

$$H_{adp} = [(41680 \cdot 0.24) + (41680 \cdot 0.0125)] \cdot (35 - 25)$$

$$H_{adp} = 105242 \text{ Kcal/Kg}$$

d) Air de dilution secondaire

L'air de dilution secondaire est utilisé pour obtenir à la sortie de la chambre de combustion une température inférieure à la température de fusion des grains qui est de l'ordre de 155°C pour le DAP afin d'éviter la fusion du produit et par conséquent le bouchage du sécheur.

Cet air provenant de l'air de refroidissement du premier caisson du refroidisseur, est composé uniquement de l'air chaud, aspiré par le ventilateur C05.

Débit d'air de dilution secondaire : $Q_{ads} = 24160 \text{ Kg/h}$

Température : 64 °C

Humidité : 0.0183 Kg d'eau/Kg d'air sec

Cp: 0.24 Kcal/Kg°C

L'enthalpie de dilution secondaire est calculée par :

$$H_{ads} = [(24160 \cdot 0.24) + (24160 \cdot 0.0183)] \cdot (64 - 25)$$

$$= 243380 \text{ Kcal/Kg}$$

Bilan de matière

$$G = F + Q_{ac} + Q_{adp} + Q_{ads}$$

$$G = F + 19.74 \cdot F + 41680 + 24160$$

$$G = 20.74 \cdot F + 65840$$

Bilan thermique

$$H_g = (PCI + H_f) + H_{ac} + H_{adp} + H_{ads}$$

$$H_g = (9550 + 50) * F + 47.38 * F + 105242 + 243380$$

$$H_g = 9647.38 * F + 348622$$

En tenant compte des pertes de chaleur au niveau de la chambre de combustion qui sont estimées à 2%, l'enthalpie des gaz sera donc :

$$H_g = 9454.43 * F + 341649.56$$

PCI : pouvoir calorifique inférieur de fuel

3) Bilans dans le sécheur

L'évaluation du bilan matière et thermique du sécheur a pour but de calculer la quantité d'eau évaporée, la quantité de chaleur disponible ainsi que la quantité d'air qui traverse le sécheur. Les pertes à travers les parois du sécheur sont estimées à 3%.

a) Chaleur à l'entrée du sécheur

La chaleur à l'entrée du sécheur est la somme des chaleurs des gaz sortant de la chambre de combustion, la chaleur du produit humide sortant du granulateur et la chaleur apportée par l'air parasite.

- Gaz sortie de combustion :

$$G = 20.74 * F + 65840$$

L'enthalpie de gaz sortie de combustion :

$$H_g = 9647.38 * F + 348622$$

- Produit entré sécheur DAP :

Débit du produit à l'entrée du sécheur :

$$Q_{me} = 222\,500 \text{ Kg/h}$$

$$C_p = 0.36$$

$$T = 85^\circ\text{C}$$

L'enthalpie du produit à l'entrée du sécheur :

$$H_{me} = 4\,806\,000 \text{ Kcal/h}$$

- L'air parasite :

Débit d'air parasite : Q_p
Température : 35°C
Enthalpie d'air parasite : $H_{Qp} = 11.93 * Q_p$

La chaleur à l'entrée du sécheur est la somme des enthalpies

$$H_e = H_g + H_{me} + H_{Qp}$$

b) Chaleur totale à la sortie du sécheur

➤ Chaleurs du produit sortant :

Débit du produit sortant Q_{ms} : $246\,000\text{ Kg/h}$

T: 88°C

C_p : 0.33

L'enthalpie du produit sortant

$$H_{ms} = 5\,114\,340\text{ Kcal/h}$$

➤ Gaz extrait du sécheur par le ventilateur C01 :

Débit des gaz : $Q_{gs} = 127\,500\text{ Kg/h}$

L'enthalpie des gaz : $H_{gs} = 3\,820\,887\text{ Kcal/h}$

Donc l'enthalpie totale à la sortie du sécheur en tenant compte des pertes qui sont estimées à 97% est la somme des chaleurs du produit séché et de la chaleur des gaz extraits

$$H_s = 0.97 * (5\,114\,340 + 3\,820\,887)\text{ Kcal/h}$$

4) Détermination de la quantité de fuel consommé

L'équation du bilan matière sur le sécheur s'écrit :

$$G + Q_{me} + Q_p = Q_{ms} + Q_{gs}$$

$$20.74 * F + 65840 + 222\,500 + Q_p = 127\,500 + 246\,000$$

$$20.74 * F + Q_p = 85160\text{ Kg/h}$$

L'équation du bilan de chaleur sur le sécheur s'écrit:

$$H_g + H_{me} + H_{Qp} = H_s$$

$$9647.38 * F + 348622 + 11.93 * Q_p + 4806000 = 0.97 * (5114340 + 3820887)$$

$$9647.38 * F + 11.93 * Q_p = 3512548.19\text{ Kcal/h}$$

Donc on a un système de deux équations et deux inconnus: F et Q_p

$$9647.38 * F + 11.93 * Q_p = 3512548.19$$

$$20.74 * F + Q_p = 85160$$

Ce qui donne: $F = 265.32 \text{ Kg/h}$ et $Q_p = 79657.26 \text{ Kg/h}$

5) Interprétation

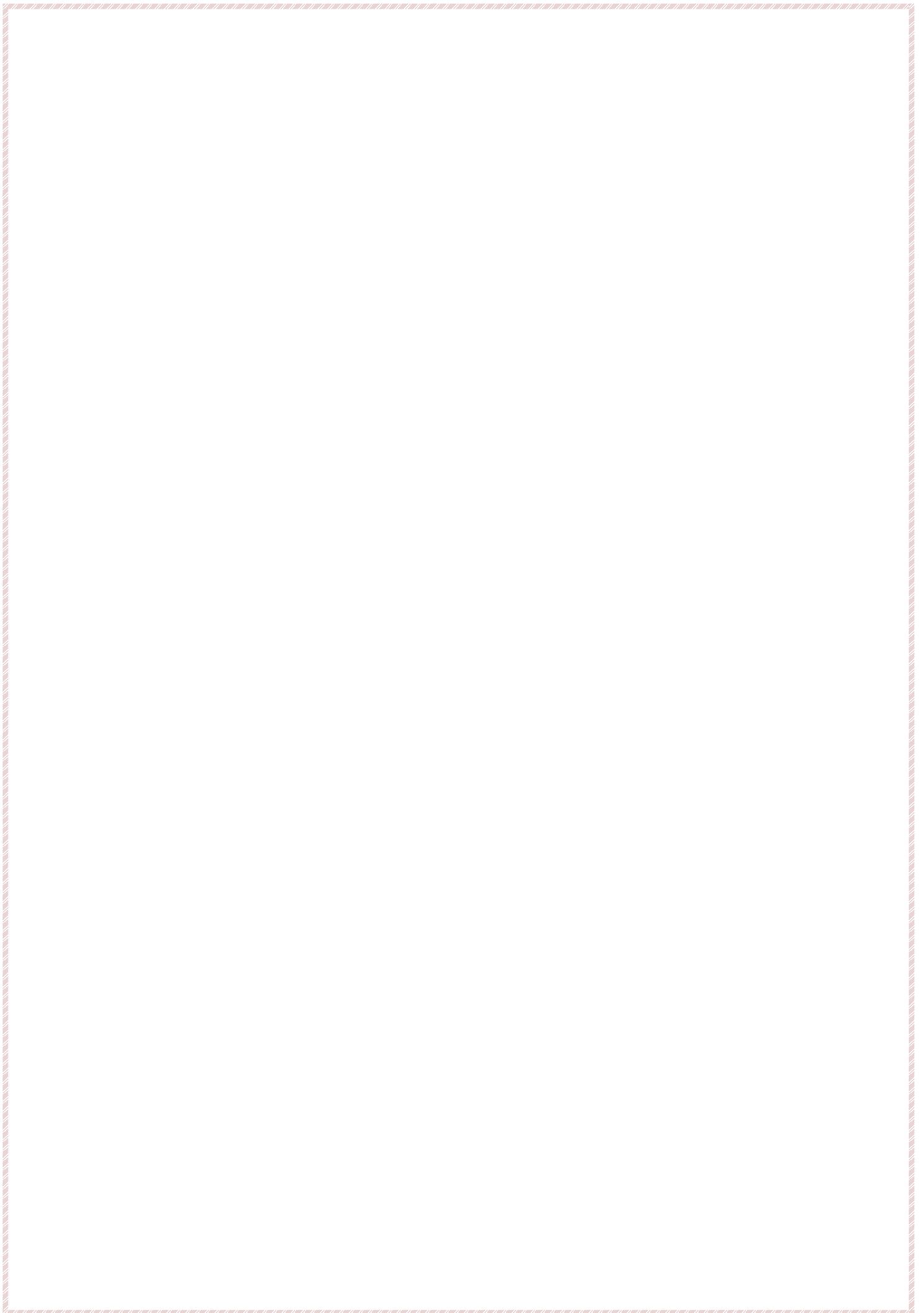
Comme nous venons de le voir à travers l'étude faite et les essais effectués au laboratoire et sur l'installation, l'effet de certains paramètres sur l'opération de séchage :

- La température de l'air de séchage doit être entre 200°C et 250°C.
- la granulométrie est un paramètre très important dans l'opération de séchage, il faut donc éliminer la sur granulation.
- La diminution de la période de repos permet d'améliorer l'opération du séchage.
- Il existe d'autres paramètres importants dans l'opération de séchage tels que : la vitesse de rotation la pente du sécheur, la teneur en P₂O₅, le taux de solide dans l'acide phosphorique...

VI. Conclusion :

Le stage effectué au sein de l'OCP de JORF LASFAR :

- * Nous a permis de suivre le bilan de matière au cours de la fabrication des engrais et l'opération de séchage.
- * De donner une description générale de l'installation de la fabrication des engrais avec les différentes opérations unitaires en établissant son bilan massique.
- * Description de l'opération du séchage en donnant le bilan énergétique de la chambre de combustion et en précisant les différents paramètres influant cette opération.



Annexe 1

Liste d'abréviation

DAP : le phosphate diamonique.

MAP : le phosphate mono-ammonique.

TSP : le triple superphosphate.

N: azote.

P: phosphore.

K: potassium.

RM : rapport molaire

Q_x : débit

H_x : enthalpie